

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА ПРИСТРОЇВ**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри, проф., д.т.н.
_____ Л. Д. Писаренко
«__» _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 171 – Електроніка**

на тему: «Електронна система автоматизованого розподілу теплової енергії дому»

Виконав:

студент 6 курсу, групи ДЕЗ-71пм

Пасічник Б.В.

Керівник роботи:

старший викладач

Бевза О.М.

Консультанти:

Нормоконтроль:

доцент, к.т.н.

Чадюк В.О.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій бакалаврській роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

Київ 2018

[illegible]

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки

Кафедра електронних приладів та пристроїв

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 171 «Електроніка» («Електронні прилади та пристрої»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.

_____Л.Д.Писаренко

«____»_____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Пасічнику Богдану Васильовичу

1. Тема дисертації «Електронна система автоматизованого розподілу теплової енергії дому», науковий керівник дисертації Бевза Олег Миколайович, старший викладач, затверджені наказом по університету від « 07 » листопада 2018 року №4115-с.
2. Термін подання студентом роботи 8.12. 2018 р.
3. Об'єкт дослідження: Електронна система автоматизованого розподілу теплової енергії дому.
4. Предмет дослідження: Розрахунок необхідних конструктивних та електричних параметрів для розробки електронної системи контролю автоматизованого розподілу теплової енергії дому.
4. Вихідні дані до роботи: діапазон температур: -10°C - 100°C ; змінний струм до 30А та змінна напруга до 400В; бездротова передача даних за протоколом Wi-Fi; облік витрати електроенергії.
5. Перелік завдань, які необхідно розробити: Анотація; вступ; огляд науково-технічної літератури апаратної бази електронних систем; розрахунок та підбір конструктивних елементів системи; розробка структурної та електричної принципової схеми електронної системи розподілу теплової енергії дому; розробка друкованої плати модуля давача напруги; висновки; перелік використаної науково-технічної літератури.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Структурна схема електронної системи розподілу теплової енергії дому; електрична принципова схема електронної системи розподілу теплової енергії дому; друкована плата модуля давача напруги; плакати з рисунками, графіками та формулами.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Система керування стендом випробовування теплового насосу /Пасічник Б. В. , Бевза О. М. / Перспективні напрямки сучасної електроніки. - 2017. - С. 207-212.

8. Дата видачі завдання 10.2017р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд науково-технічної літератури апаратної бази електронних систем	30.04.2018	
2	Дослідження та порівняння принципів роботи давачів різного типу; вибір найоптимальніших для розроблюваної системи	05.2018	
3	Підбір компонентів електронної системи відповідно до технічного завдання, аналіз їх параметрів та схем підключення	08.2018	
4	Розробка повної структурної схеми системи, електричної принципової схеми та друкованої плати	10.2018	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, друкованої плати, плакатів з формулами та графіками, підготовка доповіді.	16.12.2018	

Студент гр. ДЕЗ-71мп _____

Пасічник Б.В.

Керівник роботи _____

Бевза О.М.

РЕФЕРАТ

Електронна система автоматизованого розподілу теплової енергії дому / Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» спеціальності 171 – «Електроніка». **Пасічник Богдан Васильович**

КПІ ім. Ігоря Сікорського. Факультет електроніки, кафедра «Електронні прилади та пристрої». Група ДЕЗ-71мп. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – с.86, іл.50, табл.3.

Ключові слова: електронна система, система опалення, давач, сенсор, фізичні величини, електричні величини, мікроконтролер, автоматизація, ІЧ системи опалювання.

Короткий зміст роботи: Метою роботи є розробка електронної системи розподілу теплової енергії дому з використанням доступних на ринку електроніки апаратних засобів.

В теоретичній частині розглянуто принцип роботи ІЧ систем опалення, порівняно різні типи давачів фізичних/електричних величин задля визначення їх переваг та недоліків та визначення оптимальної конструкції сенсора для розроблюваної системи .

Конструкторсько-технологічна частина містить методику підбору елементної бази розроблюваної системи відповідно до сформованої раніше структурної схеми: давачів, керуючого пристрою, периферійних пристроїв запису та відображення інформації, у відповідності до параметрів системи опалення, опираючись на технічну документацію. На основі обраної бази було розроблено електричну принципову схему пристрою, та розглянуто алгоритми визначення фізичних та електричних параметрів.

А Н О Т А Ц І Я

Завданням дипломної роботи є розробка електронної системи розподілу теплової енергії дому: розробка структурної та електричної принципової схем, підбір оптимальної елементної бази у відповідності до параметрів обраної системи додаткового опалення.

В роботі було розглянуто принцип дії ЕС керування, ІЧ систем опалення, досліджено наявні різновиди датчиків фізичних та електричних величин, приведено їх порівняння та визначено оптимальні рішення для реалізації поставленого завдання, розроблено електричну принципову схему системи та оптимізовано її роботу для забезпечення мінімальної похибки, обрано рішення визначення робочих параметрів системи опалення.

Конструкторсько-технологічна частина містить розробку макету друкованої плати для реалізації спроектованого модуля датчика напруги.

S U M M A R Y

The task of the graduate work is to develop electronic control systems for distributing the heat energy of the house: designing structural scheme and electrical schematic diagram, selection of optimal components according to the stand options and requirements.

The paper examined the principle of an electronic control systems and

IR heating systems, studied existing types of sensors of physical and electrical parameters, given comparison and optimal solution for the task, developed an electrical schematic diagram of the system and optimize its operation to ensure minimal error chosen solution determine operating parameters of the electronic system.

Design and Technology part contains PCB layout design for the implementation of voltage sensor module designed.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи другого (магістерського) рівня вищої освіти
студента кафедри електронних приладів та пристроїв факультету електроніки
Національного технічного університету України
«Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського»

Пасічника Богдана Васильовича

на тему: **«Електронна система автоматизованого розподілу
теплової енергії дому»**

Київ 2018

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ АПАРАТНОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ	13
1.1 Системи опалення; контроль параметрів системи.....	13
1.2 Контроль електричних величин.....	21
1.3 Контроль фізичних величин.....	31
Висновки досліджень літературних джерел	35
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ	36
2.1 Давачі електричних величин.....	39
2.2 Вимірювання напруги, струму та визначення електричної потужності.....	48
2.3 Стабілізація напруги	52
2.4 Давачі фізичних величин.....	54
2.5 Відображення, збереження інформації; керування системою.....	57
2.7 Розрахунок блоку живлення	63
2.8 Виконавчі засоби керування системами опалення	65
Висновки до проектування системи контролю	75
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ МОДУЛЯ СЕНСОРА НАПРУГИ.....	77
РОЗДІЛ 4. ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТАРТАПУ	81
ВИСНОВКИ	83
ЛІТЕРАТУРА	84

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AC -	alternating current (змінний струм)
AI -	artificial intelligence (штучний інтелект)
DC -	direct current (постійний струм)
LCD -	liquid crystal display (рідкокристалічний дисплей)
PCB -	printed circuit board (друкована плата)
PF -	power factor (коефіцієнт потужності)
SD -	Secure Digital Memory Card (захищена цифрова карта пам'яті)
SPI -	Serial Peripheral Interface (послідовний периферійний інтерфейс)
АЦП -	аналогово-цифровий перетворювач
БЖ -	блок живлення
ЕС -	електронна система
ІЧ -	інфрачервоний
ККД -	коефіцієнт корисної дії
МК -	мікроконтролер
ОП -	операційний підсилювач
ПВП -	первинний вимірювальний перетворювач
САПР -	система автоматизованого проектування
СО -	система опалення
ТН -	тепловий насос

ВСТУП

На тлі енергетичної кризи, яка щороку постає все гостріше, а також постійного зменшення традиційних (непоновлюваних) енергоресурсів, все гостріше постає питання стосовно раціоналізації використання доступних нам джерел енергії. Адже зменшення об'єму будь якого ресурсу, в силу тих чи інших причин, автоматично призводить до збільшення його вартості. Тому, для отримання максимальної ефективності, як енергетичної, так і фінансової, необхідно застосовувати комбінацію різнотипних енергоресурсів, які б дозволили б підтримувати необхідний рівень ефективного енергетичного забезпечення будівлі, затрачуючи при цьому меншу кількість енергії.

Для узгодженого автоматизованого керування тепловими джерелами різного типу необхідна електронна система яка би ефективно розподіляла навантаження в залежності від необхідних користувачеві потреб.

Метою даної роботи є розробка такої електронної системи (ЕС): розробка електричної принципової схеми, визначення необхідної елементної бази, її підбір у відповідності до поставлених вимог:

- вимірювання температур в межах від -10°C до $+80^{\circ}\text{C}$;
- вимірювання таких електричних параметрів як: напруга (до 400В); струм (до 30А); потужність;
- можливість керування механічним терморегулятором;
- наявність можливості збереження та відображення інформації;
- можливість інтеграції модулів дистанційного керування;
- висока гнучкість (придатність до модернізації);
- здатність системи до самонавчання (AI).

Основна функція розроблюваної ЕС – розподілене автоматичне керування джерелами теплової енергії дому, збір даних що до температури, затраченої енергії та використання цих даних для оптимізації енергозатрат.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

АПАРАТНОЇ БАЗИ ЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

1.1 Системи опалення; контроль параметрів системи

Наразі в більшості будинків та квартир найбільшу популярність має водяне опалення – центральне та місцеве. І в обох випадках основним енергоносієм є вичерпний ресурс - природний газ, який, особливо в Україні, має неприємну тенденцію до дорожчання в останні роки. Саме тому, в якості додаткового енергоресурсу було обрано систему інфрачервоної плівкової теплої підлоги, оскільки вона живиться від електромережі, що дозволяє знизити навантаження на теплову та газову мережу, та відповідним чином варіювати витрати, опираючись на тарифи.

Окрім згаданого раніше, такі системи теплої підлоги мають і наступні переваги, які виправдовують доцільність їх використання як додаткового зонального джерела тепла:

- Комфортний розподіл температури по висоті приміщення;

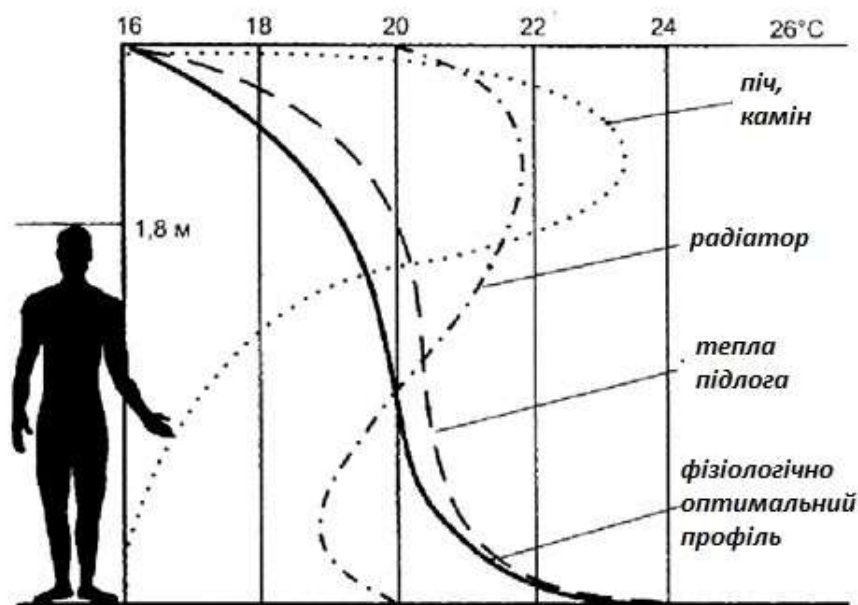


Рис. 1.1. Криві розподілу температури по висоті приміщення для різних типів систем опалення

На рис.1.1 представлено криві розподілу температури в приміщенні при використанні різних типів опалювальних систем.

Суцільною лінією показано криву яка характеризує оптимальний для організму людини температурний розподіл в приміщенні. Оскільки для відчуття комфорту, температури підлоги має складати порядку 24°C , а на рівні голови – відносно прохолодне повітря близько 19°C [2].

З рисунку видно що саме система типу «тепла підлога» забезпечує найбільш схожі умови до комфортного рівня.

До того ж, конвекційні потоки підіймаються нагріваючи повітря безпосередньо над підлогою, що значно ефективніше аніж конвекція від настінного радіатора, що умовно відображено на рис. 1.2.

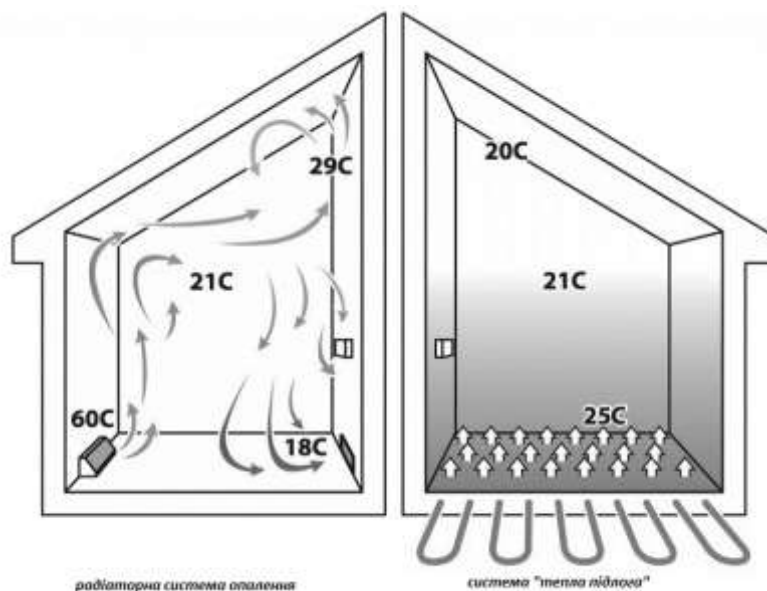


Рис.1.2. Умовне зображення конвекційних потоків від теплої підлоги та радіаторної системи опалення.

- Легкий та швидкий монтаж, висока ремонтпридатність, можливість інтегрування як в нове приміщення, так і до вже готового інтер'єру;

Оскільки даний тип системи опалення монтується полосами шириною в 70 – 110 см, та не потребує складної підготовки поверхні (необхідно лише щоб вона була рівною), а також може встановлюватися фактично під будь які типи

поверхонь підлоги, забезпечуються загадані вище властивості, такі як простота монтажу, ремонтпридатність і т.д.

- Швидкість нагрівання;

На відміну від теплої підлоги резистивного типу, чи будь яких інших видів конвекційних обігрівачів, які в першу чергу нагрівають повітря довкола, а вже потім предмети, довгохвильове інфрачервоне випромінювання, що використовується в обраному типі опалення, одразу передає своє тепло найближчим поверхням, що значно прискорює процес нагрівання.

- Порівняна економічність;

Для прикладу розрахуємо енергоспоживання ІЧ-плівки в кімнаті площею 16 м². Враховуючи необхідність залишити технологічні відступи від стін, а також простір для розташування великогабаритних меблів, максимальна площа нагріву сягатиме близько 10 м². Потужність таких плівок варіюється від 170 до 220 Вт на м². В середньому маємо близько 2 кВт споживання, що співставно з тепловентиляторами та масляними радіаторами для аналогічної площі кімнати. Однак, враховуючи кращий, з точки зору фізіологічного сприйняття людиною, розподіл тепла в приміщенні та менші періоди споживання, отримуємо економію порядку 30% [1].

А впровадження в систему функцій AI, з можливістю автоматизованої роботи системи, спрямованої на енергоефективність, дозволить збільшити цей показник [12].

- Сприятлива дія на організм людини;

Дослідження довели що ІЧ випромінювання має пагубну дію на хвороботворні мікроорганізми. Дана його властивість використовується в медицині.

До того ж, на відміну від конвекційних нагрівачів, що гріють повітря, а отже й «висушують» його та «спалюють кисень», ІЧ-випромінювання не має такої дії. Це позитивно відображається на слизовій оболонці, яка відіграє

вадливую роль в організмі людини, перешкоджаючи хвороботворним бактеріям [17].

- Найнижче електромагнітне випромінювання, серед всіх відомих електричних систем обігріву;

В таблиці 1.1 наведено величини електромагнітних полів які оточують нас в повсякденному житті:

Табл.1.1 Величини деяких електромагнітних полів.

<i>Випромінювач е/м поля</i>	<i>Потужність, мкТл</i>
Середнє випромінювання землі (Україна)	50
Електричний фен	2000
Пилосос та мікрохвильова піч	100
Холодильник	5
Пральна машина	10
Кабель, включений в розетку	0.7
ІЧ-плівка теплої підлоги	0.2

Як бачимо з таблиці, величина е/м поля від інфрачервоної плівки теплої підлоги є досить низькою. Це спричинено особливостями конструкції, за якої відбувається часткова взаємокомпенсація полів породжених від провідників з різнонаправленим струмом [20].

- Можливість організації локальних зон нагрівання (навіть на балконах);

Як вже згадувалося раніше, в силу особливостей ІЧ нагрівання, є можливість використання даного навіть на відкритих терасах та балконах, оскільки відбувається нагрівання не повітря, а предметів.

З цієї ж причини можлива організація локальних зон нагрівання (ігрова зона в дитячій, робота зона біля столу, зона відпочинку і т.д.), що забезпечує відчуття комфорту в місці де проводиться найбільше часу, і де це найбільш необхідно, одночасно економлячи за рахунок пустих територій, які нагрівати в даний час не потрібно.

На рис.1.3 показана структурна схема включення ІЧ-підлоги. Оскільки плівка має паралельне включення в системі, то організувавши блок комутації окремими сегментами можна отримати можливість контролю нагріву не лише в часу (вмикаючи та вимикаючи всі нагрівальні елементи), а й в просторі (вмикаючи та вимикаючи окремі сегменти), що має позитивний вплив на енергоефективність даного типу нагрівальної системи.

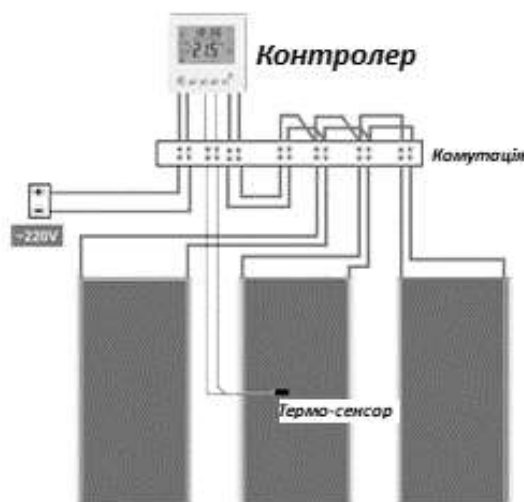


Рис. 1.3. Структурна схема включення «ІЧ підлоги».

- Можливість монтажу з великою кількістю поверхонь (навіть на стіну).

Непримхливість системи опалення до типу покриття дозволяє встановлювати її найрізноманітнішим чином, для отримання максимально необхідного ефекту.

Оцінивши всі переваги даної системи, в порівнянні з можливими аналогами, можна говорити про доцільність її використання як в якості основної системи (для малих площ та низьких тепловтрат), так і допоміжної.

В той же час, в якості основної системи опалення дому розглядається використання водяної СО, в силу її широкого розповсюдження. В таких системах транспортування тепла до приміщень здійснюється з допомогою рідкого теплоносія (зазвичай води) через радіатори, конвектори та зв'язуючі їх трубопроводи. В залежності від радіусу дії такі СО поділяють на дві основні групи:

- *Централізоване опалення* – де тепловий носій отримує енергію від теплового центру (котельні), і через магістралі передає її окремим приміщенням. В таких випадках тепловий носій нагрівається шляхом спалювання природного газу чи інших вичерпних енергоресурсів.

Економія з використання розроблюваної ЕС, для такого випадку, проявляється виключно при наявності індивідуального теплового лічильника.

- *Індивідуальне опалення* – в даних СО тепловий носій зазвичай нагрівається також спалюванням вичерпних природних енергоносіїв, проте вже локально, в кожного користувача.

Економічний ефект в такому випадку завжди вилитиметься в економію на енергоресурсах основної СО.

Серед систем індивідуального опалення в останні роки набули популярності так звані системи альтернативних джерел теплової енергії. В ролі джерела тепла для енергоносія тут можуть виступати такі види відновлюваної енергії як геотермальна, аеротермальна та гідротермальна.

Опалення з допомогою теплового насоса (ТН) – як пристрій транспортування теплової енергії від джерела низькопотенціальної теплової енергії до споживача, працює за зворотнім циклом Карно, може бути як компресійним (приводиться в дію з допомогою механічної енергії) так і абсорбційним (використовують тепло в якості енергії) (рис.1.4.). Тепловий насос, серед решти, вирізняється досить високою ефективністю (на 1 Вт затраченої електричної енергії можливо отримати від 3 до 7 Вт теплової енергії). Ще одна перевага ТН – енергія навколишнього середовища, за рахунок якої реалізується робота насоса, є надійним та поновлюваним джерелом енергії доступним протягом усього року [21].

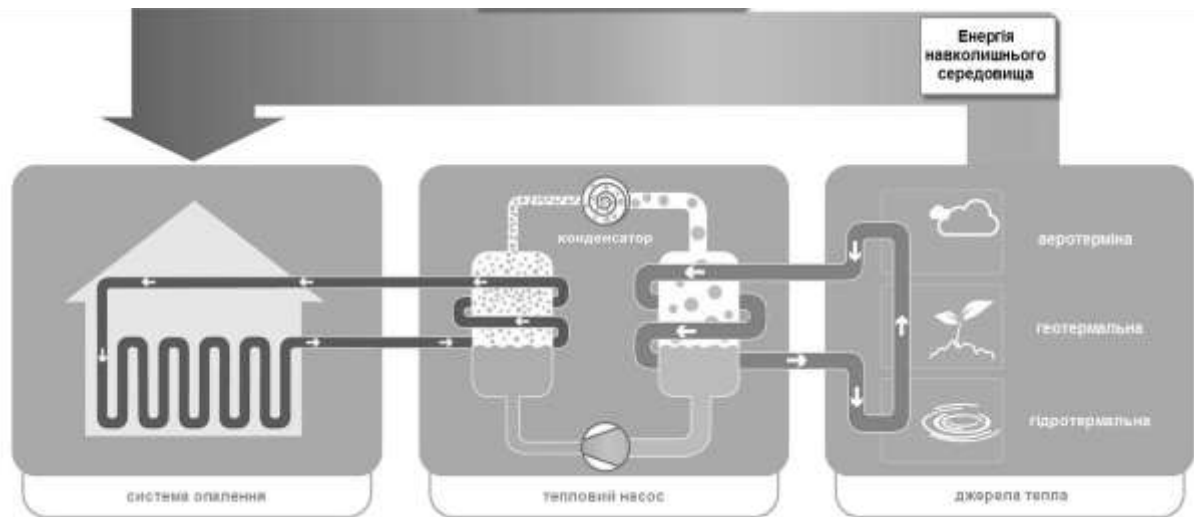


Рис.1.4. Принцип роботи теплового насоса

В залежності від типу джерела енергії нагрівання енергоносія виділяють:

- Геотермальний тепловий насос – енергії нагрівання є тепло землі. Дана система більш дорога при встановленні, оскільки потребує встановлення спеціального земляного контуру в якості зовнішнього контуру – випаровувача, який розміщується на досить великій території під землею. Однак дана система здатна ефективно працювати за нижчих температур та має більший ККД [21].
- Повітряний тепловий насос – в якості джерела енергії нагрівання енергоносія виступає повітря зовні приміщення. Найефективнішим є використання даної системи навесні та восени, коли температура не нижче - 5°C. До переваг даної системи відносять простішу (а відповідно й дешевшу) інсталяцію. Вона не потребує великих територій для встановлення зовнішнього контуру – випаровувач системи можна порівняти з зовнішнім блоком звичайного кондиціонера. Однак на один затрачений ват електроенергії максимально система може видати до 5 ват теплової енергії, що дещо нижче, ніж у випадку геотермального насоса.

Наразі, як ІЧ системи опалення, так і водяні, найчастіше керуються з допомогою терморегулятора, який досить сильно обмежує можливості їх використання, та гнучкість налаштування. А про можливість роботи з двома

системами одночасно, та розподіл навантаження між ними згідно сформованого користувачем алгоритму, взагалі не йдеться.

Дещо ширший функціонал доступний в так званих системах «розумного дому». Типовий набір елементів такої системи приведено на рис. 1.5.



Рис.1.5. Типовий набір елементів системи «розумний дім».

В порівнянні зі звичайними термостатами такі системи мають гнучкіші налаштування режимів роботи, можливість бездротового підключення для передачі даних та керування, здатні моніторити параметри системи. Однак їх функціонал все рівно обмежується роботою з однією із СО, що не дозволяє в повній мірі комбінувати та розподіляти синергію роботи кількох систем опалення.

Завдання розроблюваної системи – реалізувати розподіл навантаження між основною системою опалення та додатковою; збір даних про затрачену енергію; можливість зонального розподілу теплової енергії, автоматизація роботи з подальшою інтеграцією функцій штучного інтелекту.

Розглянемо детальніше параметри, моніторинг яких є необхідним, та типи сенсорів що можуть бути використані.

1.2 Контроль електричних величин

- **Сила струму**

Контроль сили струму споживання системи є важливим параметром для визначення спожитої електроенергії та попередження наслідків КЗ в електричному ланцюзі.

Найбільш простим, і в той же час найбільш точним, способом вимірювання сили струму в ланцюзі є *вимірювальний шунт* (рис.1.6).

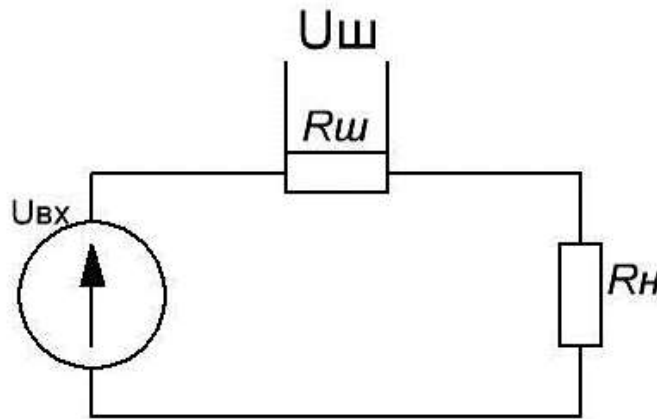


Рис.1.6. Давач струму (вимірювальний шунт)

Принцип дії такого давача в повній мірі відображається законом Ома (1.1) для ділянки електричного кола:

$$U_{ш} = R \cdot I_{ш} \quad (1.1)$$

де $U_{ш}$ — падіння напруги на шунті; I — струм в колі; $R_{ш}$ — опір шунта, відповідно до рис.1.2.1 ($R_{н}$ – резистор навантаження, $U_{вх}$ – вжерело напруги).

Тобто сила струму, що протікає через активний опір пропорційна падінню напруги на цьому опорі. Таким чином, маючи константу у вигляді незмінного активного опору $R_{ш}$, та вимірюючи значення падіння напруги на цьому опорі, можна точно оцінити силу струму у вимірюваному електричному ланцюзі [3].

Конструктивно, струмовий шунт показано на рис.1.7.



Рис.1.7. Струмівий шунт на 100 А.

Недолік такого способу вимірювання полягає в тому, що частина потужності на шунті втрачається у вигляді випромінюваного тепла, тому при великих значеннях сили струму доводиться вдаватися до зменшення напруги що отримується з датчика, задля зменшення цих втрат. Тому, в більшості випадків, в парі з вимірювальним шунтом застосовують операційний підсилювач (рис.1.8), з коефіцієнтом підсилення порядку 20 – 40 (коефіцієнт підсилення задається резисторами R та $20R$). Такий варіант є кращим ніж підсилювальний каскад на основі транзистору, оскільки має більшу лінійність та коефіцієнт підсилення [3].

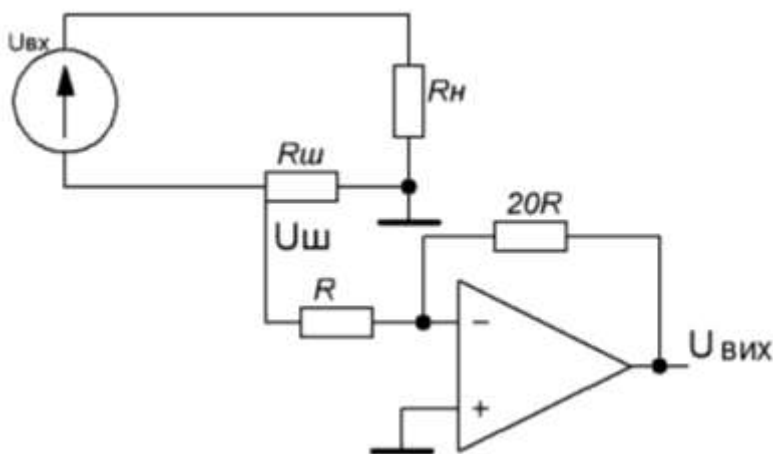


Рис.1.8. Використання ОП в якості підсилювача

Окрім високої точності такий варіант вимірювання сили струму характеризується, також і широким діапазоном напруг та частот вимірюваної величини. До недоліків же, окрім низького ККД спричиненого тепловими втратами на шунті, відносять також відсутність гальванічної розв'язки.

Давачі струму на основі ефекту Холла ґрунтуються на використанні ефекту виникнення різниці потенціалів при розміщенні провідника зі струмом в магнітному полі (напруги Холла).

Перевагою застосування даного типу давачів є: висока верхня межа вимірюваного діапазону струму (до 1кА); можливість вимірювання як постійного так і змінного струму; наявність гальванічної розв'язки з електричним ланцюгом в якому проводяться вимірювання.

Враховуючи всі вище перераховані переваги сенсорів даного типу, доцільність їх використання в розроблюваній системі є виправданою, тому детальніше розглянемо їх роботу.

Явище ефекту Холла відображено на рис.1.9..

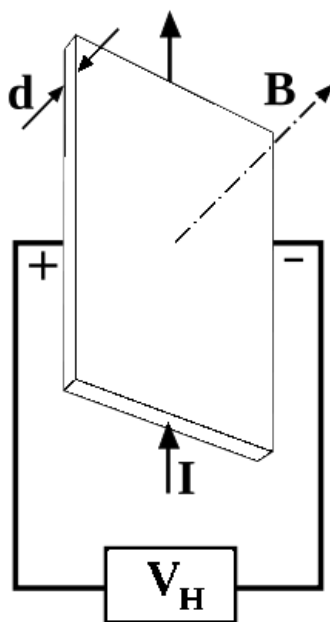


Рис.1.9. Ефект Холла.

При поміщенні провідника (пластина на рисунку) в магнітне поле (\vec{B}), під дією сили Лоренца заряди «зміщуються» до однієї з граней пластини створюючи, різницю потенціалів, яка пропорційна магнітній індукції (B) що пронизує пластину та силі струму (I) що фіксується, і визначається за формулою 1.2 [4].

$$U_{Холл} = \frac{IB}{e\rho d} = R \frac{IB}{d} \quad (1.2)$$

, де e – елементарний заряд електрона, ρ - кількість електронів в одиниці об'єму, d – товщина пластини (провідника), $R = \frac{1}{q\rho}$ – постійна Холла.

У випадку застосування неінвазивного давача електромагнітне поле, що виникає довкола провідника зі струмом, через не високу свою потужність потребує підсилення з допомогою феритового кільця, в розріз якого поміщується пристрій що фіксує зміну значення магнітної індукції через зміну напруги (давач на ефекті Холла). Однак на рівні з простотою конструкції, що обумовлює не високу вартість приладу (давач струму на ефекті Холла відкритого типу), проявляються і недоліки у вигляді підмагнічування осердя, що призводить до підвищення нелінійності показників. Побороти це явище можна додавши до осердя обмотку, та пустивши по ній струм, пропорційний тому що вимірюється. Давачі такої конструкції називають сенсорами компенсаційного типу (Рис.1.10)[5].

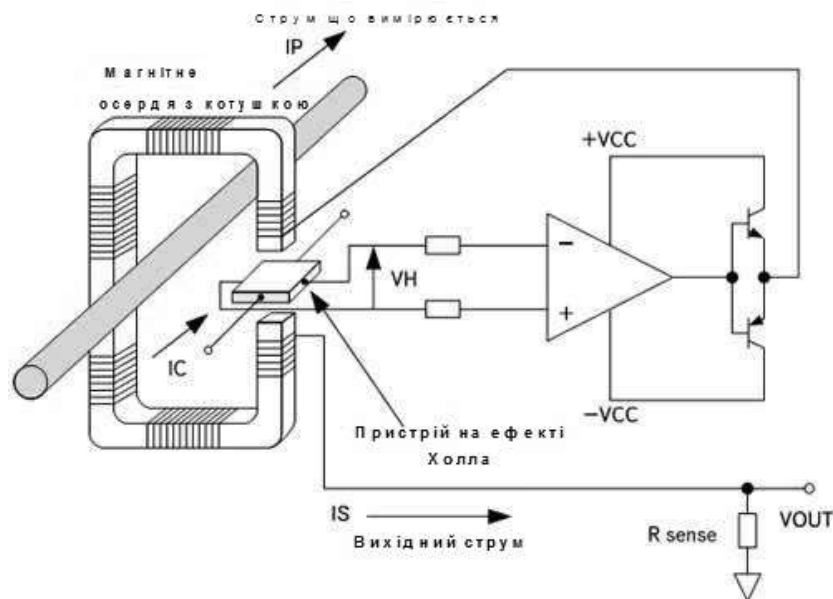


Рис.1.10. Конструктивна схема давача струму на ефекті Холла компенсаційного типу.

Серед переваг сенсорів даної конструкції – вища точність, що обумовлена кращою лінійністю залежності сили струму та напруги Холла. Однак ускладнена будова робить їх дорожчими, в порівнянні з давачами відкритого типу.

Підключення здійснюється до аналогового порту мікроконтролера, відповідно, інформація опрацьовується через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП). Для біполярного давача що живиться безпосередньо від Nucleo (3,3 В), середня точка (за кімнатної температури та відсутності вимірюваного струму / магнітного поля) знаходитиметься на цифровому рівні 512 (для 12-ти бітного АЦП мікроконтролерів сімейства STM роздільна здатність визначається з формули 1.3).

$$N_p = 2^{12} = 4096 \quad (1.3)$$

, де 10 –розрядність АЦП; що складає половину від напруги живлення – 2,5 В. Таким чином отримуємо крок дискретизації що визначається за формулою 1.4.

$$N_d = \frac{U_{\text{АЦП}}}{N_p} = \frac{3.3}{4096} = 0,000805 \text{ (В)} = 0,81 \text{ (мВ)} \quad (1.4)$$

, де $U_{\text{ж}}$ – опорна напруга АЦП (зазвичай рівна напрузі живлення МК)

Знаючи залежність вихідної напруги пристрою на ефекті Холла від величини магнітної індукції, яка пропорційна силі струму що вимірюється, можна розрахувати мінімальну зміну напруги, що може фіксуватися даним вимірювачем. Відповідно до закону Біо-Савара, модуль магнітної індукції B магнітного поля прямого провідника залежить від струму провідника за формулою 1.5 [5].

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} = k \frac{I}{r} \quad (1.5)$$

, де μ_0 – магнітна стала, r – відстань на якій визначається значення індукції, I – сила струму вимірюваного ланцюга.

Використання такого типу давача дозволяє застосовувати його без розриву електричного ланцюга в якому проводяться вимірювання, що також можна віднести до переваг.

Ще одним із способів вимірювання сили струму є застосування так званого *вимірювального трансформатора струму*. На рис.1.11 відображено влаштування трансформатора струму (а), та схеми ввімкнення вимірювального

приладу безпосередньо в ланцюг що контролюється (б), та через трансформатор струму (в) [6].

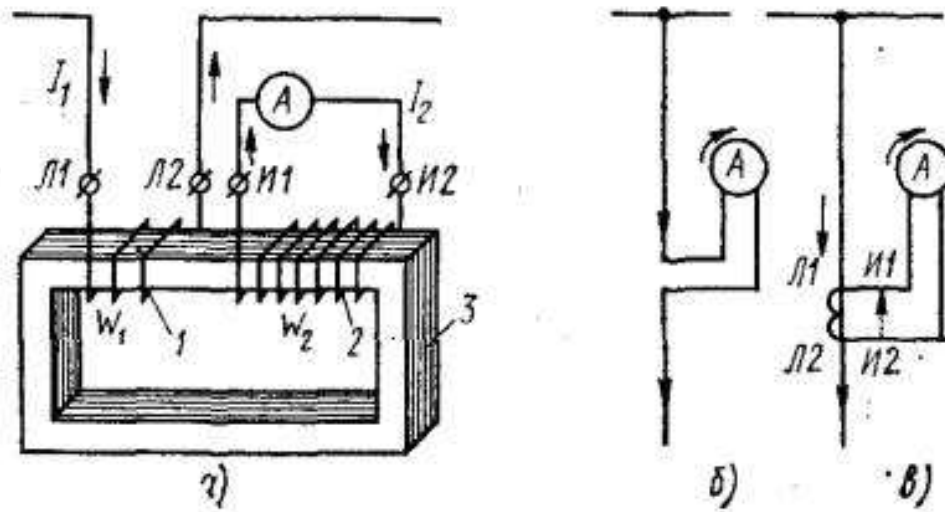


Рис.1.11. Трансформатор струму

Конструктивно такий давач являє собою звичайний трансформатор, первинна обмотка якого підключена до джерела струму, а вторинна замикається на вимірювальному пристрої. Така конструкція використовується задля вимірювання сили струму в високоамперних ланцюгах, зазвичай з високим потенціалом. Ще однією перевагою даного способу є відносно дешевий та простий спосіб реалізації гальванічної розв'язки вимірювального ланцюга струму.

Недолік трансформатора струму – здатність працювати виключно в певному діапазоні частот, що обумовлено металевим осердям. Використання фериту в якості осердя дозволяє підвищити частотний діапазон роботи трансформатора до десятків кілогерц [6].

Позбавитися цього недоліку можна видаливши осердя, тим самим отримавши *повітряний трансформатор* (або так звану *катушку Роговського*), схему підключення якої відображено на рис.1.12.

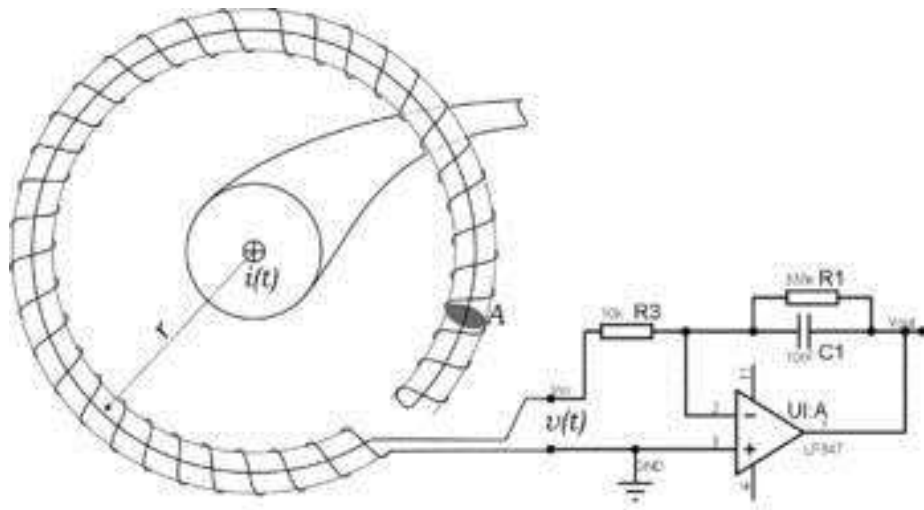


Рис.1.12. Схема підключення котушки Роговського.

На рисунку $i(t)$ – струм що протікає через провідник розташований в центрі котушки на відстані r , A - площа поперечного перерізу повітряного трансформатора, $u(t)$ – вихідний потенціал котушки, пропорційний протікаючому через провідник струму, ОП U1:A, резистори R_1 та R_3 , а також конденсатор C_1 формують підсилювальний каскад.

Як і у випадку з давачем струму на ефекті Холла, котушка Роговського не потребує безпосередньої взаємодії з вимірювальним електричним ланцюгом, і може бути встановлена як пояс, поверх вимірюваної лінії.

• Напруга

Наступним важливим параметром що необхідно моніторити є напруга.

Оскільки живлення системи здійснюється від електромережі змінного струму 230В, необхідно підібрати сенсор напруги, що давав би можливість моніторити змінну напругу в діапазоні до 400 В (взято запас 20% від амплітудного значення напруги в мережі за нормальних умов). Частота зміни напруги для нашого регіону складає 50 Гц.

Найпростішим способом реалізації вольтметра є *дільник напруги*, схему якого відображено на рис1.13.

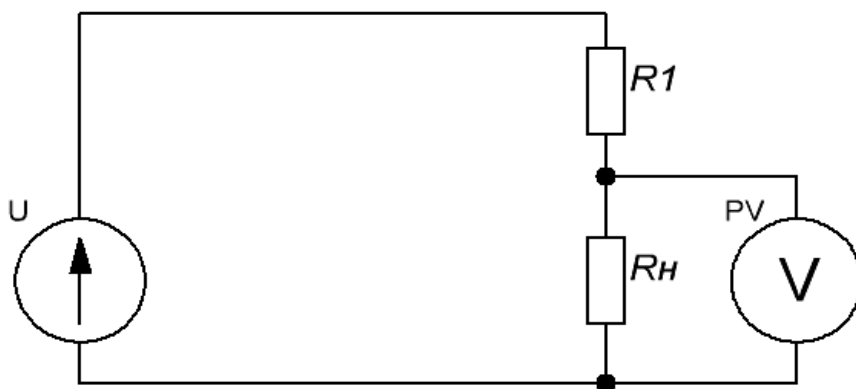


Рис.1.13. Дільник напруги

Напруга на вимірювальному приладі, в даному випадку, визначатиметься як вхідна напруга помножена на коефіцієнт дільника, згідно формули

$$U_{PV} = U \cdot \frac{R_n}{R_n + R_1} \quad (1.6)$$

Тут необхідно задовольнити наступним умовам, при виборі резисторів дільника $R_1 - R_n$:

- вхідна напруга, прикладена до дільника повинна бути меншою напруги пробою резисторів;
- потужність, що виділяється на дільникові має бути якомога меншою;
- струм у колі резисторів має бути на кілька порядків більшим, аніж струм вимірювального приладу, щоб не нести великого впливу на покази вимірювання. Для цього необхідно врахувати опір внутрішніх ланцюгів АЦП вимірювального приладу, що у випадку мікроконтролерів STM складає 100МОм.

Точність вимірювань такого способу визначається, переважно, прецизійністю використовуваних резисторів та їх термостабільністю [7].

До переваг такого вимірювача можна віднести досить високу точність вимірювань та широкий діапазон вимірюваних напруг і частот (що визначається номіналами резисторів, їх прецизійністю та термостабільністю), а також можливість вимірювань як змінної так і постійної напруги.

Недоліками даної схеми є відсутність гальванічної розв'язки та низький ККД (спричинений нагрівом дільника).

Інший спосіб – *трансформатор напруги*, відносно схеми що розглядалася раніше має такі переваги, як значно ширший діапазон робочих напруг (до сотень кіловольт) та наявність гальванічної розв'язки.

Конструктивно він являє собою звичайний трансформатор, що працює, переважно, в режимі холостого ходу (рис.1.14).

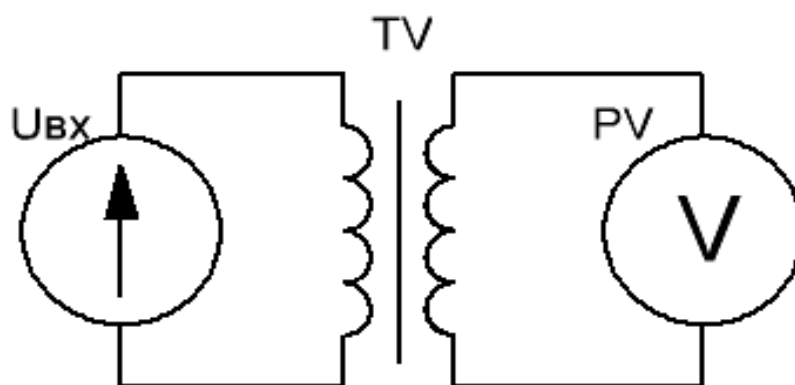


Рис.1.14. Конструкція трансформатора напруги

На рисунку PV – прилад вимірювання напруги вторинної обмотки трансформатора; $U_{вх}$ – джерело напруги первинної обмотки трансформатора; TV - трансформатор з металевим осердям.

Точність вимірювань в такому випадку визначається класом точності трансформатора яка, в свою чергу, залежить від робочої ділянки характеристики намагнічування.

Недоліком такого способу є те, що більшість трансформаторів напруги практично не пропускають гармонік і, відповідно, з'являються складнощі при реалізації передачі сигналу без спотворення його форми (а отже працюють на певній смузі частот) [8].

Електронний ізолюваний давач позбавлений недоліків притаманних обом розглянутим вище схемам (має гальванічну розв'язку, широкий діапазон вимірюваних напруг та частот, високу точність та можливість вимірювання як

змінної так і постійної напруги). Конструкцію такого типу давача відображено на рис.1.15.

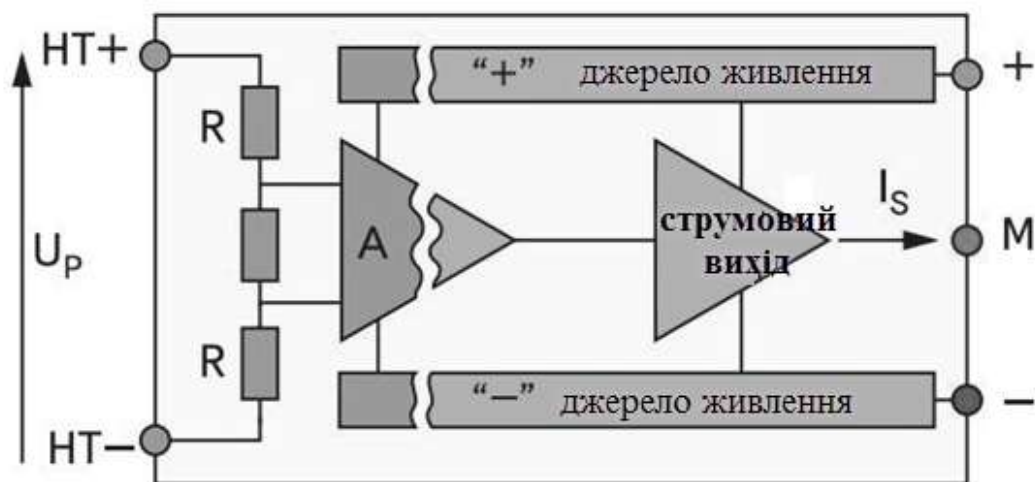


Рис.1.15. Структурна схема електронно-ізолюваного давача

Такий сенсор являє собою завершений пристрій, що має дільник напруги, операційний підсилювач, блок гальванічної розв'язки та схему ізолюваного живлення всього пристрою [7].

Реалізувати аналогічну схему можливо самостійно, застосувавши ізолюваний аналоговий підсилювач (наприклад HCPL - 7850).

Недоліком даної схеми є складність та дороговизна реалізації.

• Потужність

Визначення потужності електричної енергії, спожитої системою опалення, дозволить кількісно оцінити ефективність її роботи, планувати витрати на експлуатацію та в більш повній мірі наочно продемонструвати переваги застосування системи опалення даного типу.

Оскільки споживачем електричної потужності є інфрачервона нагрівальна плівка

, який являє активно-індуктивне навантаження, формула 1.7 визначає спожиту корисну (активну) потужність таким навантаженням.

$$P = U_{RMS} \cdot I_{RMS} \cdot \cos \varphi \quad (Bm) \quad (1.7)$$

, де U_{RMS} та I_{RMS} діючі значення напруги та струму, $\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності.

Кут φ тут вказує на зсув фаз напруги та струму, що характерно для реактивного навантаження. В нашому випадку навантаження можна вважати активним, а отже цей показник буде рівним 1.

Відповідно, за відсутності реактивної потужності, можна вважати що вся потужність що витрачається системою є активною (тобто маємо мінімум втрат).

Більш детальні викладки стосовно визначення потужності будуть наведені в практичній частині роботи.

1.3 Контроль фізичних величин

- Температура

Вимірювання температури можна здійснювати з використанням різних типів датчиків, які різняться своєю конструкцією та принципом дії, а також діапазоном вимірювань.

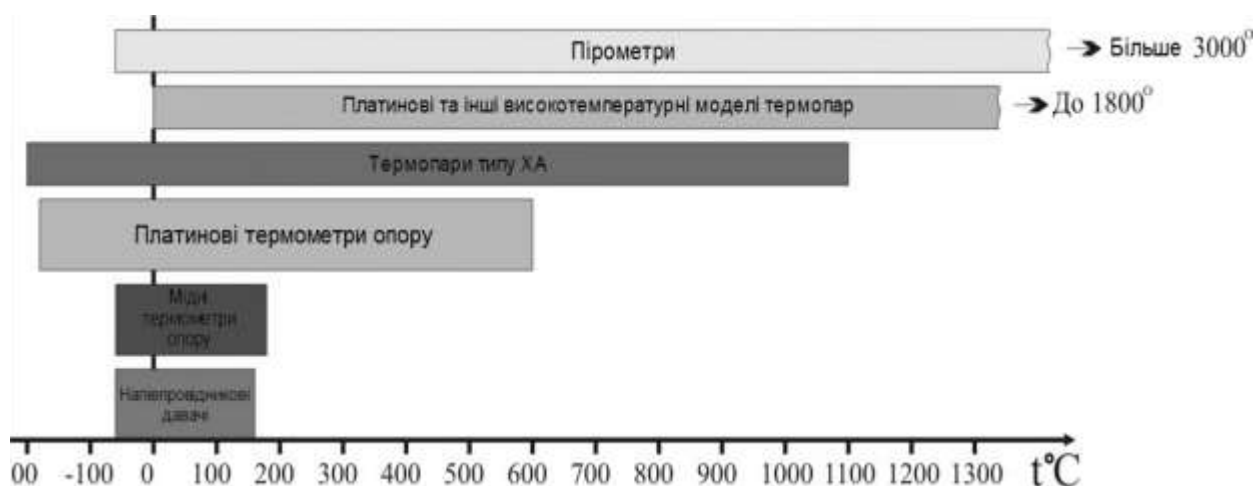


Рис.1.16. Порівняння температурних діапазонів роботи сенсорів різного типу.

На рис.1.16 представлено порівняння температурних діапазонів роботи датчиків температури різного типу.

Найпростішим типом (який в силу цього отримав найбільше розповсюдження у вимірювальній техніці) є так звані термометри опору. Принцип дії такого сенсору засновано на залежності питомого опору металу від температури. Цю залежність виражають відповідним коефіцієнтом – температурний коефіцієнт опору (ТКО). В металах, зі зростанням температури опір матеріалу збільшується, що відповідає позитивним значенням ТКО.

Конструкція такого давача являє собою котушку з мідного чи платиного дроту в захисному кожусі. Точність вимірювань знаходиться в прямій лінійній залежності від довжини такого дроту, а також від прецизійності схеми яка здійснює вимірювання опору котушки. Відповідно до типу використовуваного матеріалу котушки та нульового опору (опору при температурі в 0 °C) здійснюється маркування сенсорів даного типу [10].

Діапазон вимірювання такого типу термометрів лежить в межах -50°C - +200 °C. Промислові сенсори мають похибку близько 0.1 °C, що дозволяє вважати їх досить високоточними вимірювачами, за невисокої вартості.

Схожим за принципом дії до термометру опору, проте відмінний за конструктивними особливостями є наступний тип давачів температури – терморезистори. Такі сенсори можуть мати як позитивний ТКО (позистори), так і негативний – (термістори). Проте, на відміну від термометру опору, терморезистори мають значну нелінійність

Сенсори, принцип дії яких засновано на виникненні термо-ЕРС, так званого – ефекту Зеебака, в місці спаювання двох різнорідних металів отримали назву термопари. ЕРС що виникає пропорційна різниці температур між точкою спаювання металів («гарячим кінцем»), та їх іншими виводами («холодними кінцями»), що підключаються до вимірювального пристрою [10].

Однак використання даного типу давачів має ряд свої особливостей. По-перше - вихідним параметром термопари є ЕРС з величиною порядку 10^{-3} В, відповідно, для проведення вимірювань необхідно використовувати підсилювач. По-друге – з'являється необхідність компенсації температури «холодного спаю», що здійснюється шляхом визначення значення температури в безпосередній близькості з точкою контакту вільних кінців термопари зі входом підсилювача, та віднімання цього значення від «основних» показників. По-третє – з'єднувальні дроти повинні бути з того ж матеріалу що й матеріал термопари, для запобігання збільшення похибки вимірювань через додаткові спаї.

Перевагою термопар є широкий температурний діапазон вимірювань. Однак, разом із тим проявляється і недолік – відносно висока похибка вимірювання – близько 1 °C. Також до недоліку можна віднести нелінійність термопар, яку необхідно враховувати, особливо за великого діапазону температур що вимірюються.

Напівпровідникові датчі температури знайшли своє застосування за рахунок зміни падіння напруги на р-п переході при протіканні струму в прямому напрямку (близько 2мВ на кожен 1°C) [11]. Відповідно, як температурний сенсор можна використати звичайний діод, чи один із р-п переходів транзистора. Такі датчі здатні працювати в межах температур від -50°C до +150 °C. На ринку існують готові сенсори, що мають аналоговий вихідний сигнал, пропорційний температурі (зручні до використання разом із АЦП мікроконтролера). Також наявні готові мікросхемні рішення, які мають вбудований АЦП та цифровий інтерфейс зв'язку (SPI, I2C, 1-Wire) що значно спрощує їх використання, особливо при необхідності застосування великої кількості датчів в одній системі.

- **Фіксація присутності людей**

Для реалізації максимально ефективної автоматизованої роботи системи, а також подальшого впровадження функцій AI, необхідно забезпечити можливість системи визначати присутність людей в приміщенні, та посилати на мікроконтролер відповідний сигнал.

Для даної цілі можна використати сенсор руху. Виділяють три основні підгрупи сенсорів руху:

Ультразвукові – принцип дії яких ґрунтується на фіксації віддзеркалених радіохвиль від об'єкту, що рухається в зоні детектування.

На рис.1.17 умовно відображено принцип роботи такого сенсора. Передавач генерує несучу хвилю в ультразвуковому діапазоні. Хвиля віддзеркалюється від об'єктів та детектується приймачем.

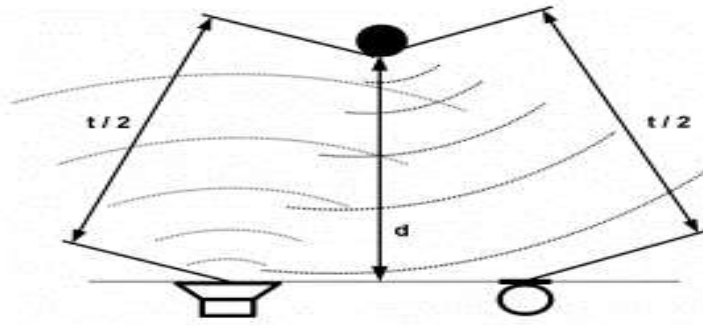


Рис. 1.17. Принцип роботи ультразвукового сенсора.

Знаючи швидкість руху хвилі в повітрі можна розрахувати відстань до об'єкту. При переміщенні об'єкту в зоні дії сенсору фіксуватимуться зміни в віддзеркаленій хвилі, що й буде сигналом про рух.

Перевагою таких сенсорів є їх порівняно не висока вартість. До недоліків же можна віднести не високу чутливість та залежність від температур. До того ж випромінювання таких сенсорів можуть бути частково чутними і для вуха людини, а також домашніх улюбленців, що вноситиме певний дискомфорт.

Мікрохвильові сенсори за своїм принципом дії дещо схожі до ультразвукових. Тут відбувається фіксації зміни частоти віддзеркаленої хвилі відносно падаючої – так званий ефект Допплера. Тобто, приймач детектує рух фіксуючи зміну в частоті отриманої хвилі.

В порівнянні з ультразвуковими сенсорами тут зникає недолік стосовно дискомфорту і можливої його чутності. Однак з'являється небезпека для організму, оскільки вплив мікрохвиль на організм людини не є безпечним. Саме тому їх бажано використовувати подалі від місця постійного перебування людей (наприклад – на вулиці).

Інфрачервоний тип сенсорів є найбільш розповсюдженим, і прийнятним для використання в таких цілях. Конструкція такого давача являє піроелектричний сенсор та лінзу Френеля (так званий PIR-сенсор, рис.1.18). На рис.1.18 також показано зміну вихідного сигналу сенсора при детектуванні руху в області видимості давача. Даний тип сенсорів детектує все ІЧ випромінювання, оскільки воно є характерним для тіл з температурою вище абсолютного нуля (-273°C) [22].

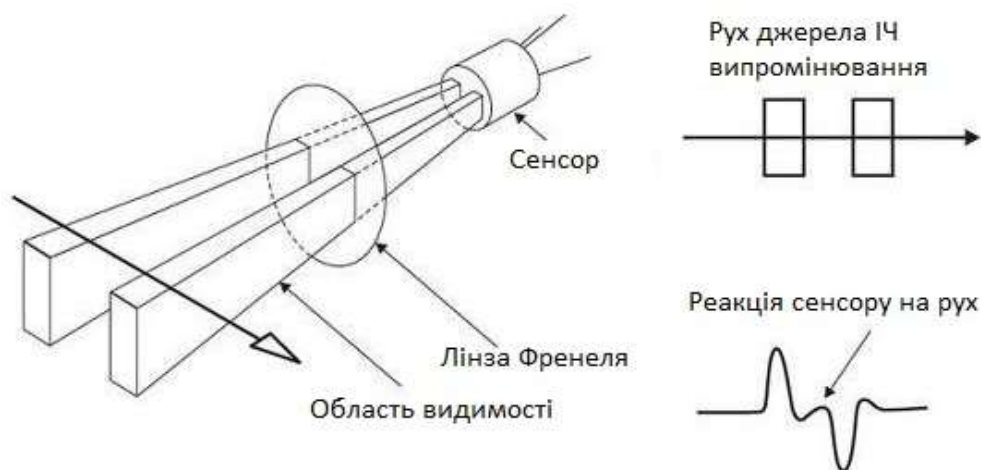


Рис.1.18. Конструкція піроелектричного сенсора та реакція вихідного сигналу на рух в області видимості.

В деяких джерелах високочутливі різновиди таких давачів також називають «сенсорами присутності», оскільки вони реагують не лише на пересування об'єктів, але й на мінімальні їх рухи. Єдиним недоліком даного типу сенсорів можна вважати їх необхідність до точного юстування, особливо при використанні в системах з наявними джерелами теплового випромінювання.

Висновки досліджень літературних джерел

Серед розглянутих різновидів СО водяна є найрозповсюдженішою, а ІЧ – найбільш гнучка для використання в якості додаткової. Тому ЕС що проектується буде орієнтована на роботу саме з цими типами ОС.

Аналіз різноманітних конструкцій давачів фізичних та електричних величин, що представлені сьогодні на ринку електроніки, який було проведено в даному розділі, дозволив виділити типи конструкцій сенсорів, найбільш прийнятні для застосування в розроблюваній ЕС. Це дає змогу в подальшому визначити серед обраних типів конструкцій ті, які оптимальним чином задовольнятимуть завданню та параметрам ЕС автоматизованого розподілу теплової енергії та розробити електронну принципову схему системи.

РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

На основі інформації, отриманої з літературних джерел, в даному розділі буде сформовано структурну схему, проведено підбір елементної бази для проектованої ЕС автоматизованого розподілу теплової енергії дому, визначено алгоритми роботи з нею, розроблено повну структурну схему та електричну принципову схему системи.

На основі поставлених до проектованої ЕС вимог та виходячи з функціональних можливостей, які вона мусить забезпечувати, було побудовано структурну схему ЕС автоматизованого розподілу теплової енергії дому, яку відображено на рис.2.1 та в БР6.050802.032.007.E1.

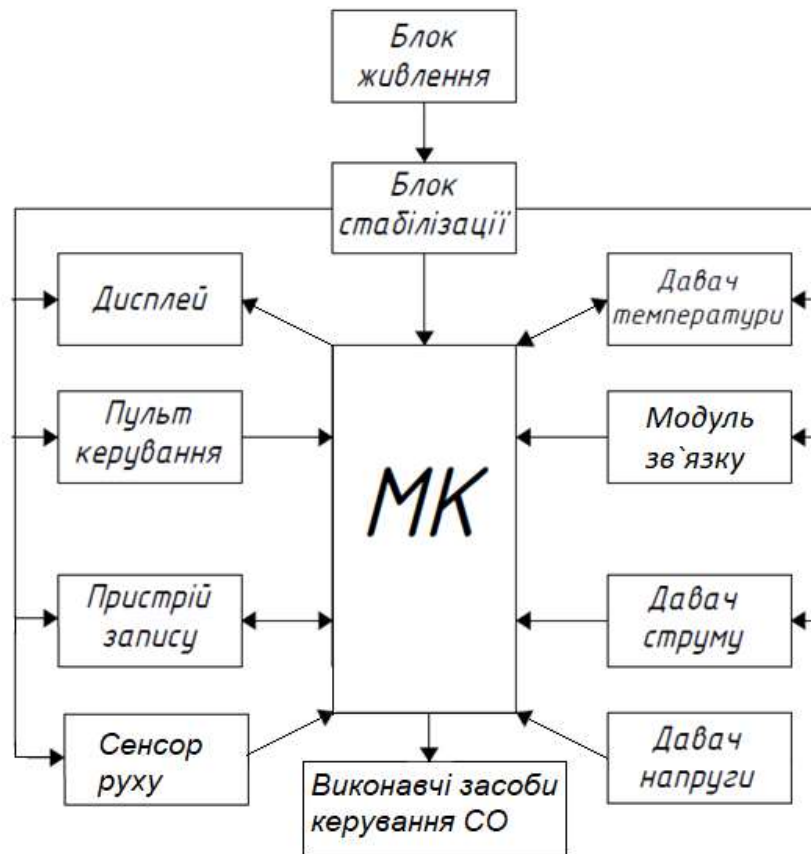


Рис.2.1. Структурна схема ЕС автоматизованого розподілу теплової енергії дому.

Опишемо блоки розробленої структурної схеми:

- *МК* – блок центрального керуючого пристрою, що представляє мікроконтролер та здійснює керування всією системою (зокрема виконавчими модулями СО): збір інформації від давачів, її опрацювання, та подальше відправлення на відображення та збереження;
- *Блок живлення* – представлений імпульсним блоком живлення що забезпечує електричну потужність необхідну для роботи ЕС ;
- *Блок стабілізації* – виконує роль джерела опорної напруги а також стабільного джерела живлення елементів СК;
- *Давач температури* – блок представлено цифровими сенсорами, які вимірюють температуру в різних зонах приміщення;
- *Модуль зв'язку* – здійснює передачу інформації між ЕС та персональними пристроями керування/моніторингу (смартфон, ноутбук);
- *Давач струму* – блок представлено сенсором для контролю змінного струму в ланцюгах живлення ІЧ СО;
- *Давач напруги* – блок для контролю напруги прикладеної до ІЧ СО;
- *Пристрій запису* – блок виконує збереження отриманого від давачів значення вимірюваних величин;
- *Дисплей* – блок відтворює інформацію щодо значення вимірюваних величин в зручній для сприйняття формі;
- *Сенсор руху* – детектує наявність людини в приміщенні;
- *Пульт керування* – блок який забезпечує керування інформацією що відтворюється на дисплеї, та дозволяє налаштовувати ЕС без сторонніх засобів;
- *Виконавчі засоби керування СО* – забезпечують можливість ЕС з допомогою мікроконтролера регулювати надходження тепла від СО.

Для реалізації блоку контролю було обрано мікроконтролер сімейства STM32, які побудовані на базі ядер ARM Cortex. Даний тип мікроконтролерів відзначається високою продуктивністю та швидкодією, і порівняно низьким споживанням енергії, в порівнянні з аналогами (дані порівняння приведено в таблиці 2.1). Даний мікроконтролер дещо дорожчий своїм конкурентів, однак

значно переважає їх в продуктивності, а забезпечення «запасу потужності», для подальшої реалізації функцій AI є важливою умовою в конструйованій ЕС.

Таблиця 2.1. Порівняльні характеристики мікроконтролерів.

<i>МК</i>	<i>Ядро</i>	<i>Макс. частота (МГц)</i>	<i>Flash-пам'ять (кб)</i>	<i>ОЗП (кб)</i>	<i>Прод. (MIPS)</i>	<i>Споживання енергії (мА/Mhz)</i>
LPC1111F HN33	ARM 32-bit Cortex M0	50	8	2	0.9*50	0.15
STM32F205RBT6	ARM 32-bit Cortex-M3	120	128	64	150	0.23
AtTiny13A	Atmel 8bit	20	1	0.064	20	0.3 (1mhz) 0.55 (20 mhz)
atmega48	Atmel 8bit	16	4	0.5	20	0.3 (1mhz) 0.55 (20 mhz)
MSP430F201IPW	TI 16bit MSP430	16	1	0.12	16	0.25 (1mhz) 0.4 (16mhz)
PIC16F676	PIC16 8bit	16	2	0.22	5	0.1*4
PIC12F509	PIC12 8bit	12	2	0.041	5	0.087*4
STM32F100C4T6B	ARM 32-bit Cortex-M3	24	16	4	1.25*24	0.23

До того ж, принаймні на стадії розробки, можна образи одну з оціночних (відлагоджувальних) плат від виробника STMicroelectronics – наприклад з лінійки Nucleo. Це зручно, оскільки: по-перше – плата містить всю необхідну для коректної роботи мікроконтролера елементну базу необхідну для його нормального функціонування, що полегшує програмування/тестування; по-друге – спеціальне середовище програмування дозволяє спростити процес підключення та налаштування нових модулів (давачів, пристроїв індикації та

керування, модулів зв'язку та збереження інформації і т.д.); по-третє – величезна кількість готових для роботи з такими платами модулів, з наявними бібліотеками, що сприяє подальшій гнучкості системи до модернізації та розширенню функціональних можливостей (аж до інтегрування властивостей AI).

Блок сенсорів, який, пов'язує «електронний мозок» системи – мікроконтролер, із зовнішнім фізичним світом, та являє собою сукупність сенсорів, що здійснюють перетворення вимірюваних фізичних/електричних величини (температура нагрівальних елементів та навколишнього середовища, електричні напруга/струм/потужність т.д.) в прийнятний для мікроконтролера сигнал.

Відповідно до розробленої узагальненої структурної схеми, здійснимо підбір елементної бази ЕС.

2.1 Давачі електричних величин

- **Сенсор струму**

В теоретичній частині роботи, серед можливих конструкцій давачів струму, для розроблюваної системи було обрано сенсори на основі ефекту Холла, оскільки вони дають змогу забезпечити необхідні характеристики.

Згідно технічної документації до систем ІЧ теплої підлоги, контроль параметрів яких має забезпечувати розроблювана система, а також виходячи з максимально можливого навантаження що виділяється на електроустановки споживачів, максимальні значення струмів споживання не перевищуватимуть значення в 30 А, для найпотужніших моделей (максимальне значення сили струму розраховано для потужності 220 Вт ІЧ теплої підлоги та робочої площі нагрівання до 30м²).

Опираючись на це значення, було обрано модуль давача струму, на основі мікросхеми ACS712, який відображено на рис.2.2 [14].

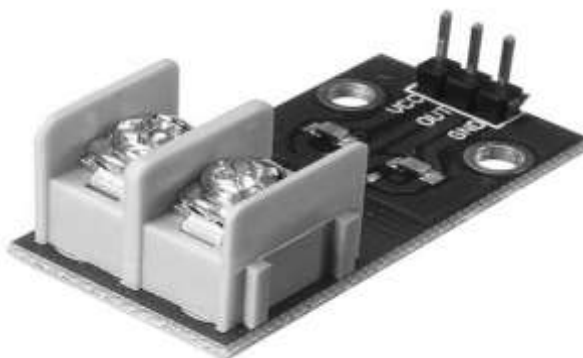


Рис.2.2. Давач струму на основі мікросхеми ACS712.

Типову схему включення мікросхеми, на якій базується обраний модуль, відображено на рис.2.3. Як бачимо зі схеми, функціонування сенсора потребує застосування фільтруючих конденсаторів на лінії живлення – C_{BYP} та C_F . Саме тому рішення обрати готовий модуль, який містить сенсор з необхідною ємністю лінією фільтрації, а також клемником для під'єднання вимірюваного ланцюга та вихідних ланцюгів мікросхеми, було обрано як оптимальне.

Вивід 7 – V_{OUT} , з'єднується з аналоговим входом мікроконтролера.

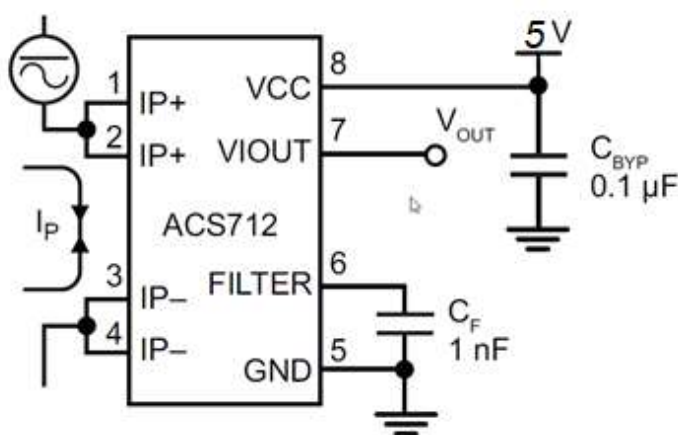


Рис.2.3. Типова схема підключення сенсора струму на основі ефекту Холла ACS712 [15].

Даний сенсор може здійснювати вимірювання змінного струму в межах від -30 А до +30 А та частотою до 80кГц.

На рис.2.4 відображено температурні графіки залежності вихідної напруги сенсора від вимірюваного струму, за напруги живлення давача 5 В[15].

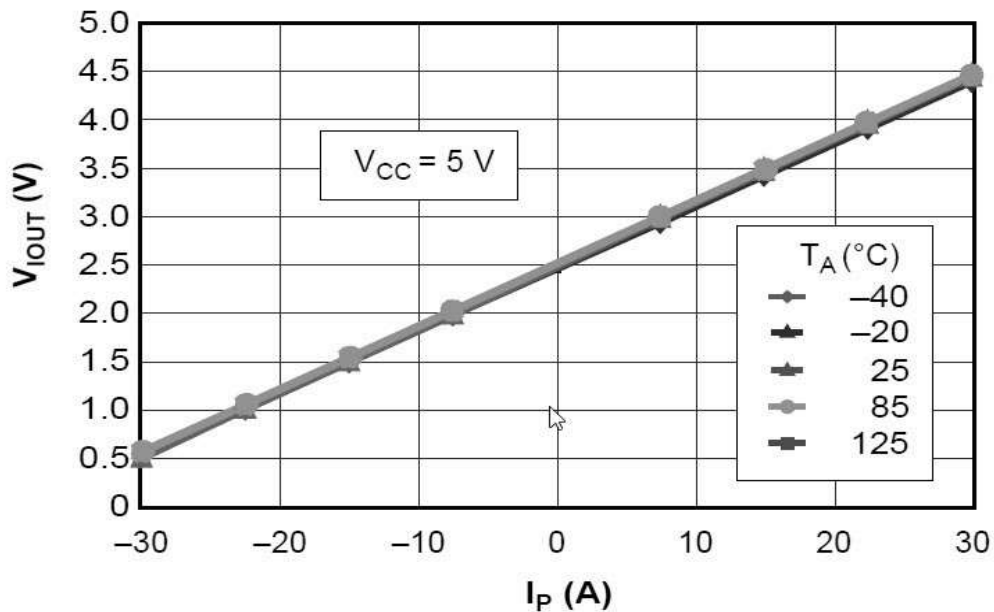


Рис.2.4. Температурна залежність вихідної напруги датчика від вимірюваного струму.

Як бачимо з графіків, напруга на виході датчика у всьому температурному діапазоні (від -40°C до $+125^\circ\text{C}$) має приблизно однакову залежність від вимірюваного струму, що говорить про високу температурну стабільність сенсора. При вимірюваному струмі рівному 0 А, напруга на виході датчика складає половину від напруги живлення - $\frac{V_{CC}}{2}$. Тобто вихідний сигнал сенсора уніполярний, і може одразу бути опрацьований на АЦП мікроконтролера без додаткових перетворень.

Графік, відображений на рис.2.5, демонструє температурну залежність чутливості (Sens) сенсора від вимірюваного струму [15].

Як бачимо, при температурах порядку 25°C дана залежність є лінійною, і складає близько 66мВ/А на всьому діапазоні вимірюваних струмів.

Даний сенсор має аналоговий вихід, отже інформація отримана з нього повинна пройти оцифрування через АЦП мікроконтролера.

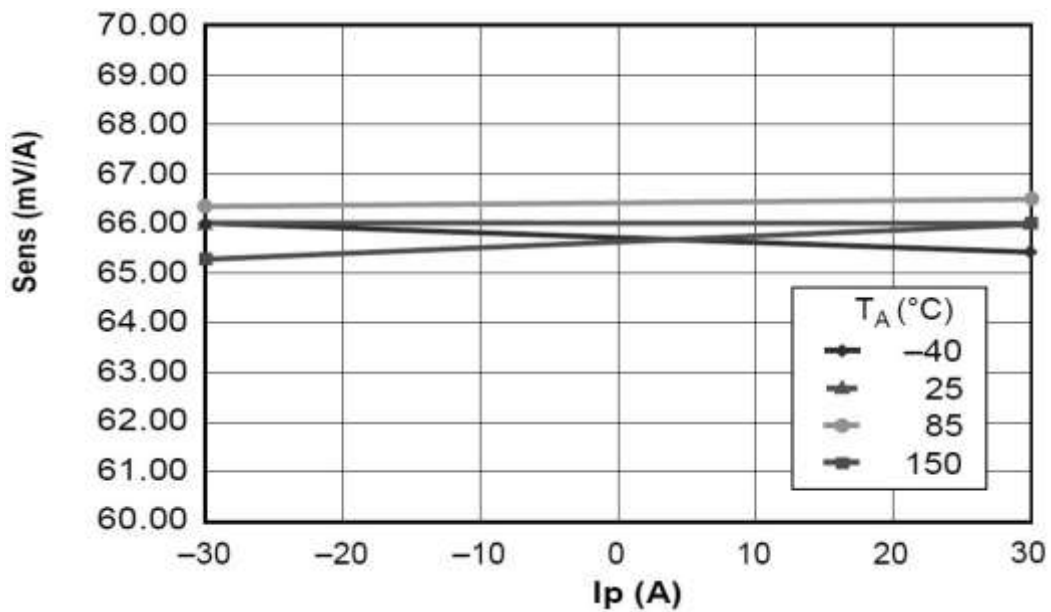


Рис.2.5. Температурна залежність чутливості давача від вимірюваного струму

З формули (1.4) маємо що мінімальний крок дискретизації 12-ти розрядного АЦП мікроконтролера, за опорної напруги 5 В складає 1.22 мВ. Знаючи чутливість обраного сенсора струму, розрахуємо мінімальний крок дискретизації розроблюваного амперметра згідно формули (2.1).

$$\Delta I_{\min} = \frac{N_d}{Sens} = \frac{1.22}{66} = 18,4 \text{ (мА)} \quad (2.1)$$

Таким чином, мінімальна зміна струму яку здатен фіксувати спроектований модуль амперметра складає 18,4 мА.

Час відгуку даного сенсора складає всього 5мкс, а номінальний струм що споживається складає 10 мА (при напрузі живлення 5 В).

На рис.2.6 відображено залежність загальної вихідної похибки від температури зовнішнього середовища [15].

Як бачимо, за робочих температур близько 25°C загальна похибка вихідного сигналу не перевищує 1.5%, що можна вважати досить пристойним результатом.

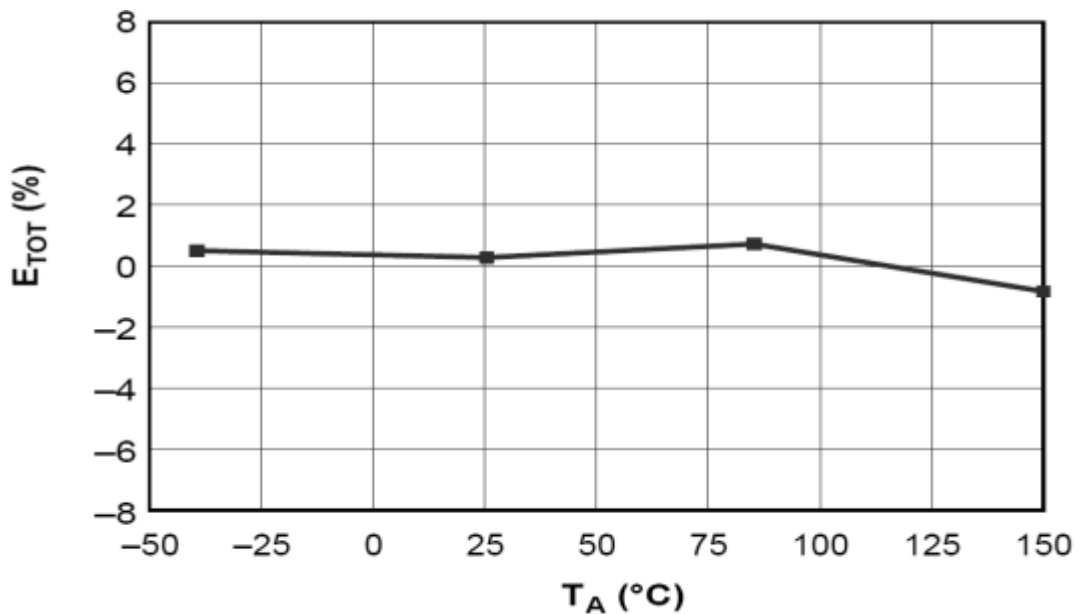


Рис.2.6. Залежність загальної похибки вихідного сигналу від температури зовнішнього середовища.

На точність показань також має вплив стабільність джерела опорної напруги АЦП, оскільки саме він здійснює детектування сигналу що надходить від датчика. Однак, у випадку використання в якості опорної напруги аналогово-цифрового перетворювача напругу живлення ACS712, його вихідна напруга компенсуватиме похибки АЦП, що спричиняються флуктуаціями опорної напруги. Таким чином матимемо компенсацію нестабільності опорної напруги, цим самим збільшуючи точність вимірювань, що також можна віднести до переваг обраного сенсора.

- **Сенсор напруги**

У випадку проектованої системи, де амплітудні значення напруги мережі живлення не повинні перевищувати 400В (амплітудне/максимальне миттєве значення напруги мережі живлення в нормальному стані складає порядку 330 В), доцільним обрано поєднання розглянутих вище схем дільника та трансформатора напруги. Таке рішення є більш економічно вигідним та конструктивно простішим в реалізації, із забезпеченням прийнятної точності вимірювань, а також безпеки роботи персоналу та елементів ЕС за рахунок використання трансформатора, який реалізує гальванічну розв'язку та дасть

змогу понизити напругу, що певною мірою компенсує недоліки схеми використання виключно дільника напруги.

Послаблена таким чином мережева напруга не змінить частоти та фази, а лише зменшиться по амплітуді до необхідного значення.

Однак виникає проблема пов'язана з АЦП, який мусить оцифрувати сигнал з давача. Так як більшість аналогово-цифрових перетворювачів мікроконтролерів є уніполярними, а сигнал на виході дільника – біполярний, його безпосереднє детектування на АЦП є неможливим. Для цього необхідно застосувати схему на операційному підсилювачі, яка виконає зміщення біполярного сигналу в область додатних значень та перетворить його на уніполярний без спотворення, як це продемонстровано на рис.2.7.

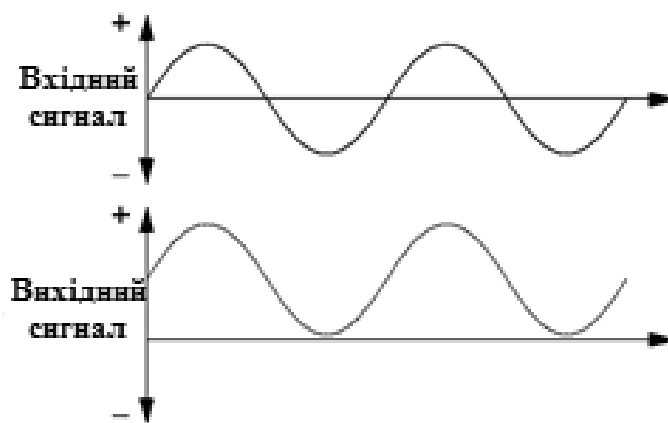


Рис.2.7.Перетворення біполярного сигналу в уніполярний

Використання ОП дозволяє відмовитися від попереднього послаблення сигналу до необхідного рівня за допомогою резистивного дільника, і реалізувати цю необхідність оперуючи коефіцієнтом підсилення схеми на операційному підсилювачі.

Враховуючи всі представлені вище викладки була розроблена схема модуля давача напруги представлена на рис.2.8.

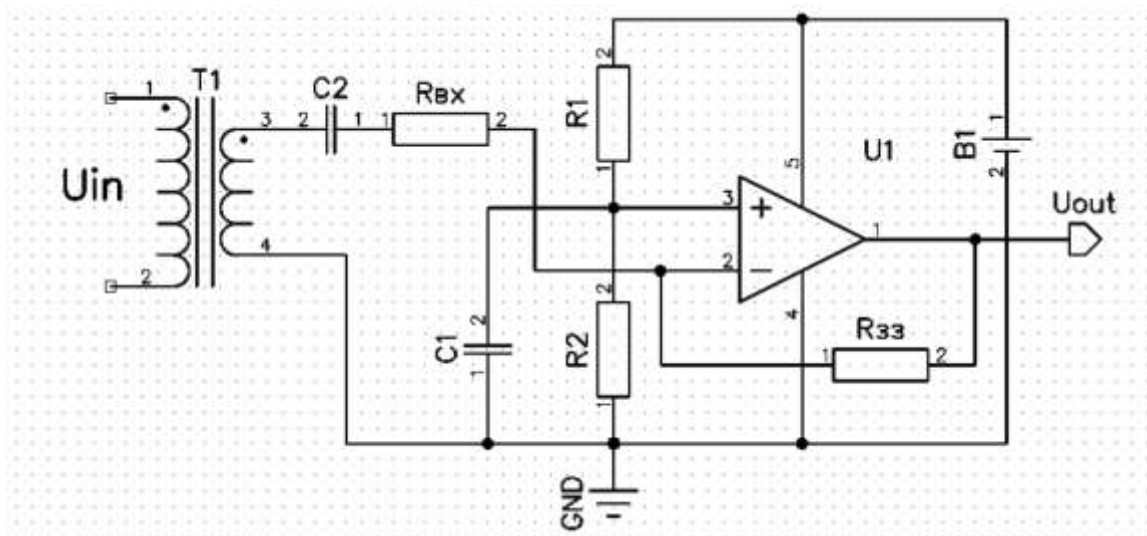


Рис.2.8. Розроблена схема реалізації модуля вольтметра.

Розроблена схема функціонує наступним чином: змінна напруга мережі, діюче значення якої складає $\approx 230\text{В}$ прикладається до понижувального трансформатора, який, zarazom, виконує функцію гальванічної розв'язки. Зі вторинної обмотки трансформатора знімається напруга з діючим значенням $\approx 12\text{В}$ і подається на ОП. Конденсатор C_2 тут розв'язує джерело змінної напруги з інвертуючим входом операційного підсилювача, задля усунення взаємовпливу входів один на одного. Конденсатор C_1 шунтує резистор R_2 дільника для зниження впливу пульсацій напруги живлення на потенціал штучно створеної дільником «середньої точки» (- відносно якої коливається вихідний сигнал). Резистори $R_{\text{вх}}$ та $R_{\text{зз}}$ задають коефіцієнт підсилення ОП, тобто в нашому випадку, послаблюють вхідний сигнал до рівня необхідного для сприйняття АЦП мікроконтролера: коливання від 0 до $+3.3\text{ В}$, середня точка $\approx 1.65\text{ В}$). Живлення операційного підсилювача здійснюється джерелом постійної напруги, тобто є уніполярним, що значною мірою полегшує проектування.

Функціонування даної схеми було перевірено шляхом моделювання в середовищі для моделювання та аналізу електричних та електронних схем Multisim, компанії National Instruments. Результати моделювання представлено на рис. 2.9.

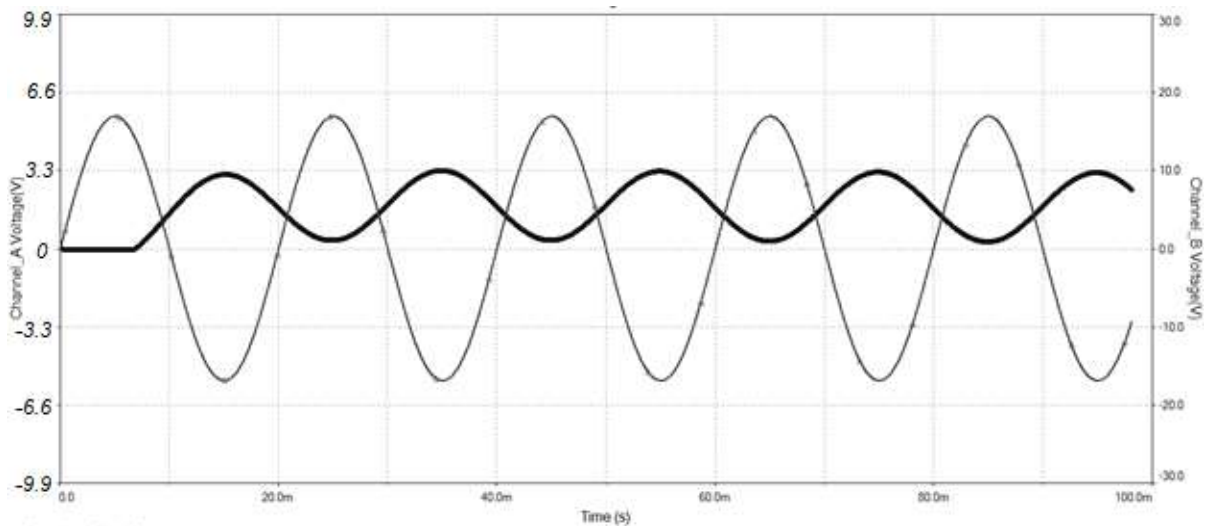


Рис.2.9. Часові діаграми перетворення біполярного сигналу в уніполярний

Тонкою лінією на діаграмі представлено сигнал на виході з трансформатора з амплітудою $\approx 19\text{В}$ (при діючому значенні напруги $12\text{В} + 10\%$ запас міцності). Товста лінія представляє вихідний уніполярний сигнал, амплітуда якого не перевищує $3,3\text{ В}$.

Дана схема, однак, має певну особливість: вихідний сигнал інвертується відносно вхідного через відповідне включення ОП. Дана особливість не є критичною, однак мусить бути врахована програмним чином при розрахунку зсуву фаз між струмом та напругою для подальшого визначення потужності.

В якості основного елементу даного модуля – операційного підсилювача було обрано модель LM 358, враховуючи наступні її характеристики:

- низька вартість;
- можливість однополярного живлення в широкому діапазоні напруг: від 3 до 32В ;
- низький струм споживання – $0,7\text{мА}$;
- низька вхідна напруга зміщення ($0,2\text{мВ}$) та висока швидкість наростання вихідного сигналу ($0,6\text{ В/мкс}$).

Типові номінали для конденсаторів C_1 та C_2 складають 1мкФ .

Типові номінали резисторів дільника R_1 та R_2 , які формують середню точку вихідного сигналу, складають $10\text{кОм} - 100\text{кОм}$. Їх значення залежать від

джерела живлення ОП, номінал якого має принаймні на 10 – 15% перевищувати максимальне очікуване амплітудне значення сигналу на виході.

Так, для джерела номіналом в 9 В, задавшись значенням резистора $R_2 = 10$ кОм, для формування середньої точки на рівні +1.65 В, резистор R_1 розрахуємо з простої формули дільника напруг (1.6):

$$R_1 = \frac{9 \cdot 10^4}{1.65} - 10^4 = 44,5 \text{ (кОм)}$$

Аналогічним чином розрахуємо $R_{вх}$: задаймося значенням $R_{зз} = 10$ кОм, маємо амплітуду вхідного сигналу ≈ 19 В і хочемо досягнути амплітуди вихідного сигналу не більше 1.65 В (щоб при середній точці на рівні 1.65 В амплітуда не перевищувала значення опорної напруги АЦП – 3.3 В). Для розрахунку скористаємося формулою (2.2) розрахунку коефіцієнту підсилення ОП з інвертуючим включенням.

$$\frac{U_{вих}}{U_{вх}} = - \frac{R_{зз}}{R_{вх}} \quad (2.2)$$

$$\text{, звідси} \rightarrow R_{вх} = \frac{R_{зз} \cdot U_{вх}}{U_{вих}} = \frac{10^4 \cdot 19}{1.65} = 115 \text{ (кОм)}$$

, де $U_{вих} = 1.65$ В – амплітудне значення напруги на виході ОП відносно сформованої середньої точки, $U_{вх} = 19$ В – амплітудне значення напруги на виході з трансформатора з урахуванням запасу міцності. В даному випадку знак « - » у формулі (2.2) означає лише інверсію вхідного сигналу, тому в розрахунках його можна не враховувати.

Трансформатор, обраний для реалізації даної схеми є герметично залитим трансформатором з металевим осердям розрахованим на вхідну напругу 230 В, з частотою 50/60 Гц та струмом первинної обмотки до 15 мА, на вторинній обмотці видає до 12 В діючого значення напруги (з максимальним амплітудним значенням 19 В) та вихідний струм до 50мА, чого цілком достатньо для поставлених цілей.

Специфікація до розробленого модуля міститься в додатку А.

2.2 Вимірювання напруги, струму та визначення електричної потужності

При дослідженні електричних параметрів споживання ІЧ теплої підлоги основний інтерес представляють такі значення напруги та струму як: *амплітудне* (U_{max}/I_{max}) – максимальне за модулем миттєве значення на періоді сигналу; *діюче* (середньоквадратичне) (U_{RMS}/I_{RMS}) – значення змінної напруги/струму, що на лінійному активному навантаженні виконує роботу аналогічну постійній напрузі/струму аналогічного рівня. Залежність між амплітудним та діючим значення можна виразити наступним чином – $U_{RMS}/I_{RMS} = \frac{U_{max}/I_{max}}{\sqrt{2}}$.

Діючі значення струму I_{RMS} та напруги U_{RMS} визначаються згідно формул (2.3) та (2.4), відповідно.

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I^2(t) dt} \quad (2.3)$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} \quad (2.4)$$

, де T – період сигналу струму та напруги; $U(t)/I(t)$ – миттєві значення напруги та струму.

У цифровій системи вимірювань, ці формули набувають наступного вигляду (2.5, 2.6):

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N I^2 \Delta t} \quad (2.5)$$

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=0}^N U^2 \Delta t} \quad (2.6)$$

, де N – кількість відліків за період часу T , яка визначається розрядністю таймера аналогово-цифрового перетворювача; $\Delta t = \frac{T}{N}$ [16].

На рис.2.10 умовно відображено процес дискретизації аналогового уніполярного сигналу, що надходить від давачів напруги/струму, засобами АЦП мікроконтролера.

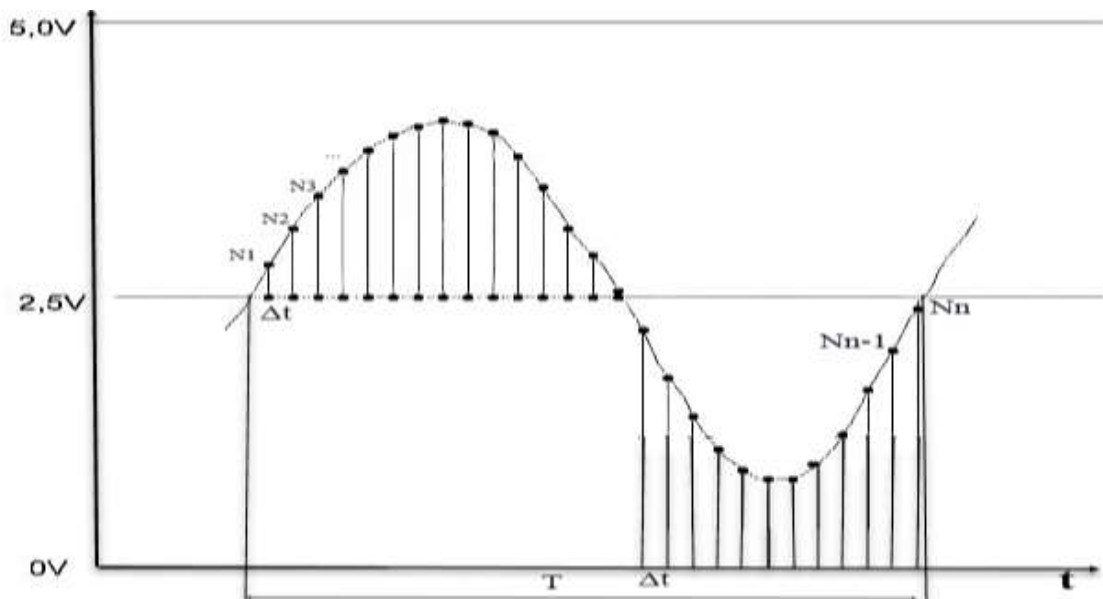


Рис.2.10. Умовне відображення дискретизації аналогового уніполярного сигналу засобами АЦП

В такому випадку, використовуючи 10-ти розрядний АЦП, значення якого змінюються від 0 до 1024 ($2^{10} = 1024$ значень), для відображення сигналу в біполярній формі, тобто таким, який він є насправді в навантаженні, цей діапазон потрібно буде перетворити в діапазон від -512 до 511. Це здійснюється шляхом зміщення постійної складової синусоїди в область що складає половині опорної напруги U_{REF} ($= 2.5 \text{ V}$). Відповідно, віднявши від вихідного значення отриманого на АЦП половину його можливого діапазону, забезпечимо біполярний рівень вихідного сигналу. Таким чином здійснюватиметься фіксація миттєвих значень напруги отриманої з датчиків, а для сенсора струму, ця напруга конвертуватиметься у відповідне їй значення струму.

Далі, в залежності від того звідки було отримано сигнал вводяться відповідні поправки: для напруги – коефіцієнт трансформації, коефіцієнт послаблення ОП; для струму – конвертування вихідної напруги в струм згідно технічної документації модуля датчика струму. Таким чином визначаються реальні миттєві значення напруги/струму.

Для визначення діючого значення напруги/струму, необхідно інтегрувати отримані миттєві значення в часі за період сигналу. Алгоритм роботи програми має наступну послідовність:

- налаштований попередньо таймер, із заданою періодичністю запускає АЦП;
- переривання по завершенню обчислення АЦП, яке:
 - зчитуватиме дані з регістру;
 - додаватиме їх до попереднього значення;
 - при досягненні останнього вимірювання за період – обраховуватиме діюче значення сигналу;
 - встановлюватиме прапорець завершення обчислення та обнулятиме лічильник.

Для налаштування таймера можна задатися частотою в 4096 Гц, яку має мікроконтролер MSP430FE4252, на основі якого будуються лічильники електроенергії. Налаштування таймера здійснюється у відповідності до його розрядності. А для більш точної фіксації величини періоду сигналу, та можливості синхронізації вимірювання з фазою, можна застосувати так званий метод «детектування переходу через нуль».

Графічно суть даного методу відображено на рис.2.11 [17].

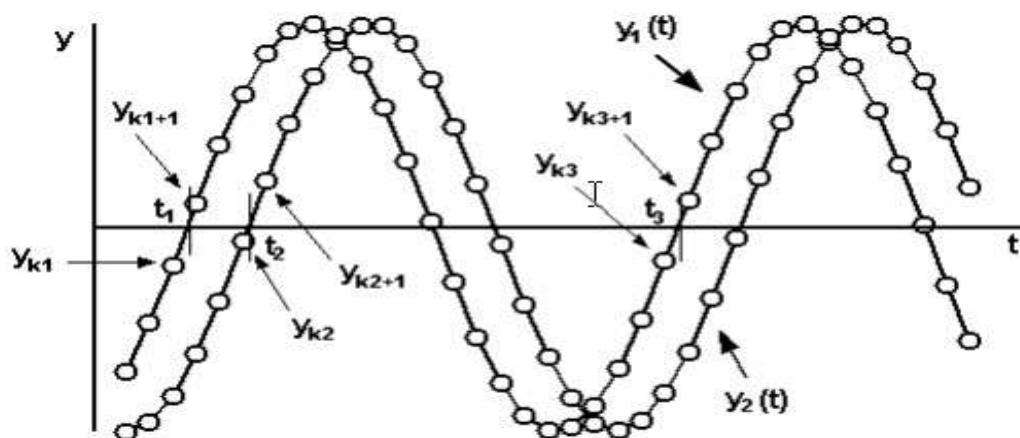


Рис.2.11. Графічне відображення методу «детектування переходу через нуль» для двох не синфазних сигналів

Суть методу наступна: контролер фіксує і порівнює з попередніми миттєві значення двох сигналів (напруги та струму) і в момент часу коли значення сигналу стає більшим певної порогової величини (умовного «нуля») проводиться інтерполяція для точнішого визначення часу перетину. Цей процес можна описати формулами (відповідно до рис.2.3.3) (2.7; 2.8) [17].

$$t_1 = t_{y_{k1}} + (t_{y_{k1+1}} - t_{y_{k1}}) \cdot (0 - y_{k1}) / (y_{k1+1} - y_{k1}) \quad (2.7)$$

$$t_3 = t_{y_{k3}} + (t_{y_{k3+1}} - t_{y_{k3}}) \cdot (0 - y_{k3}) / (y_{k3+1} - y_{k3}) \quad (2.8)$$

Маючи два значення переходу сигналу через нуль маємо половину періоду. Третє значення дає нам повний період сигналу. Віднявши від t_3 t_1 отримуємо довжину тривалість періоду сигналу.

Визначення електричної потужності.

Як вже було зазначено в теоретичній частині роботи, ІЧ система опалення являє собою активне навантаження. Це означає що практично вся потужність яку вона споживає з електромережі перетворюється в корисну роботу (корисний нагрів). Відповідно, таке навантаження не має зсуву фаз між його напругою та струмом. А отже, визначення спожитої електричної потужності зводиться до знаходження добутку між діючими значеннями напруги та струму споживання системи нагріву.

Для визначення активної потужності, яка в нашому випадку складатиме повну потужність системи, згідно формули 1.7, достатньо знати діючі значення напруги та струму в навантаженні. Методику їх визначення було розглянуто раніше.

Далі отримані величини можна використати для підрахунку спожитої електроенергії, для можливості контролю споживання нашої системи та наочного відображення економії. Так за формулою (2.10) визначаємо кількість спожитої навантаженням активної енергії за інтервал часу T ($P(t)$ – миттєві значення активної потужності).

$$E_p = \int_0^T P(t) \cdot dt \quad (2.10)$$

Для цифрової (дискретної) системи, розрахунок затраченої енергії в кВт·год відображає формула (2.11).

$$E_{p_i} = \frac{E_{p_{i-1}} + \frac{P}{3600}}{1000} \text{ (кВт} \cdot \text{год)} \quad (2.11)$$

, де $E_{p_{i-1}}$ - попереднє значення активної енергії; E_{p_i} - значення активної енергії на даний момент часу; P – значення активної потужності.

Приведені вище підрахунки особливо корисні при необхідності встановлення ліміту на використання електроенергії, і мають особливу продуктивність в парі з «багатотарифними лічильниками» та функціями штучного інтелекту (AI), структуру алгоритмів яких буде відображено далі.

2.3 Стабілізація напруги

Оскільки всі три електричні величини, вимірювання яких має виконувати розроблювана електронна система, сприймаються центральним керуючим пристроєм через АЦП, точність їх визначення безпосередньо залежить від точності аналогово-цифрового перетворення.

Як вже зазначалося раніше, точність АЦП має безпосередню залежність від стабільності джерела опорної напруги. І хоча давач струму має змогу компенсувати флуктуації опорної напруги, у випадку живлення від неї, такої компенсації не має модуль вольтметра, а отже можлива похибка впливатиме як на точність показань напруги, так і на розраховану у відповідності до неї потужність.

У зв'язку з цим було прийнято рішення забезпечити АЦП стабільним джерелом опорної напруги, тим самим мінімізувавши похибку аналогово-цифрових перетворень системи.

В якості такого джерела стабільної напруги було обрано лінійний стабілізатор з низьким падінням напруги (LDO) - LM2931/A в корпусі TO-220. Данам модель вирізняється низьким значенням напруги вхід/вихід менше 0.6 В,

та максимальний струм навантаження 100мА, чого цілком достатньо для використання в якості джерела напруги сенсорів (до 30 мА).

Згідно технічної документації, стабільність вихідної напруги даної моделі складає $\pm 2\%$ для планованого вихідного навантаження до 30 мА. Струм споживання мікросхеми в такому режимі роботи складає близько 3 мА.

В якості джерела стабільної напруги для решти споживачів 5 В було обрано інтегральний лінійний стабілізатор напруги серії LM78XX. Модель LM7805АСТ в корпусі TO220 має максимально допустимий струм навантаження в 1.5 А, діапазон входних напруг до 40 В.

Згідно технічної документації, стабільність вихідної напруги даної моделі складає $\pm 2\%$ для діапазону входних напруг від 7.5 до 20 В та струму до 1А (потужність, при цьому, не повинна перевищувати 15Вт). Струм споживання мікросхеми в такому режимі роботи складає близько 5.4 – 5.7 мА.

Типова схема включення стабілізаторів LM2931 (як і для LM78XX), отримана з технічної документації, представлена на рис.2.12 [18].

Конденсатор C_0 забезпечує стабільність напруги при різкій зміні струму навантаження, та суттєво знижує ступінь пульсацій вихідної напруги; конденсатор C_1 – зрізає високочастотні завади при подачі входної напруги.

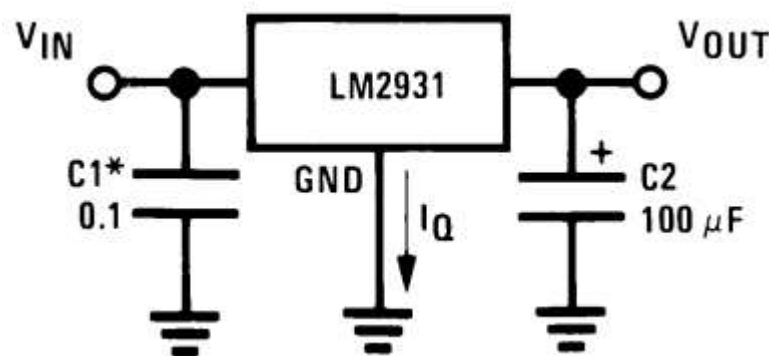


Рис.2.12 Типова схема включення LDO стабілізатора напруги

До переваг даної схеми можна віднести:

- не високу вартість;
- низьке падіння вихідної напруги відносно входної;

- достатню стабільність вихідної напруги в пристойному діапазоні вхідних напруг;
- наявність кріплення під радіатор охолодження (для корпусу TO220);
- температурний діапазон роботи від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$;
- вбудований захист від перевантажень за струмом та тепловий захист.

Недоліком даних схеми, як і всіх лінійних стабілізаторів є те, що «надлишкову» напругу мікросхема розсіює у вигляді тепла, що обумовлює не високий ККД, особливо у випадку потужнішого LM7805.

2.4 Давачі фізичних величин

• Сенсор температури

В якості давача температури розроблюваної ЕС було вирішено застосувати напівпровідникові сенсори, оскільки їх типовий температурний діапазон роботи найбільш точно співпадає з діапазоном температур, контроль яких покладається на дану систему.

Модель цифрового сенсора температури DS18B20 в корпусі TO-92 в повній мірі задовольняє вимогам до системи, оскільки, відповідно до технічної документації, має наступні характеристики:

- діапазон вимірюваних температур від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$;
- протокол інтерфейсу обміну даними з мікроконтролером – 1-Wire (що дозволяє використовувати лише одну лінію для прийому/передачі);
- наявність унікального серійного коду в кожній мікросхеми, що дозволяє підключати кілька давачів на одну лінію зв'язку;
- регульована роздільна здатність в межах від 9 до 12 розрядів, відповідно, крок показань вимірювань від 0.5°C до 0.0625°C ;
- напруга живлення від 3 В до 5.5 В (максимальний струм споживання – 1.5 мА).

Підключення до мікроконтролера може здійснюватися як з використанням зовнішнього джерела живлення (3 лінії), так і в режимі паразитного живлення (2 лінії). Однак, другий спосіб живлення вносить обмеження на часові параметри сенсора, через специфіку паразитного живлення. До того ж в такому випадку є обмеження на довжину лінії з'єднання з мікроконтролером. Тому для розроблюваної СК було вирішено обрати варіант підключення DS18B20 з зовнішнім джерелом живлення (3 лінії), як це відображено на рис.2.13 [19].

Резистор з номіналом 4.7 кОм тут використовується для підтягування високого рівню сигналу на логічному вході давача.

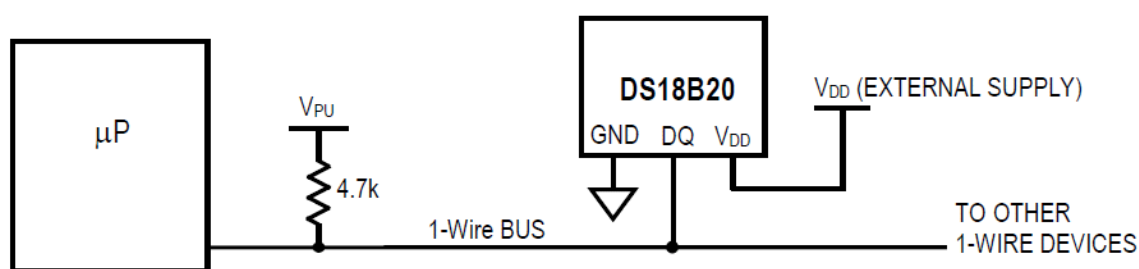


Рис.2.13. Підключення DS18b20 з зовнішнім джерелом живлення

Таким чином, на одну шину (1-Wire BUS) можна підключити до 127 сенсорів.

Як видно з типової кривої продуктивності, відображеної на рис.2.14, середнє значення похибки в діапазоні температур роботи системи на перевищує 0.2°C, а максимальне – 0.5°C, що можна вважати досить точними показаннями [19].

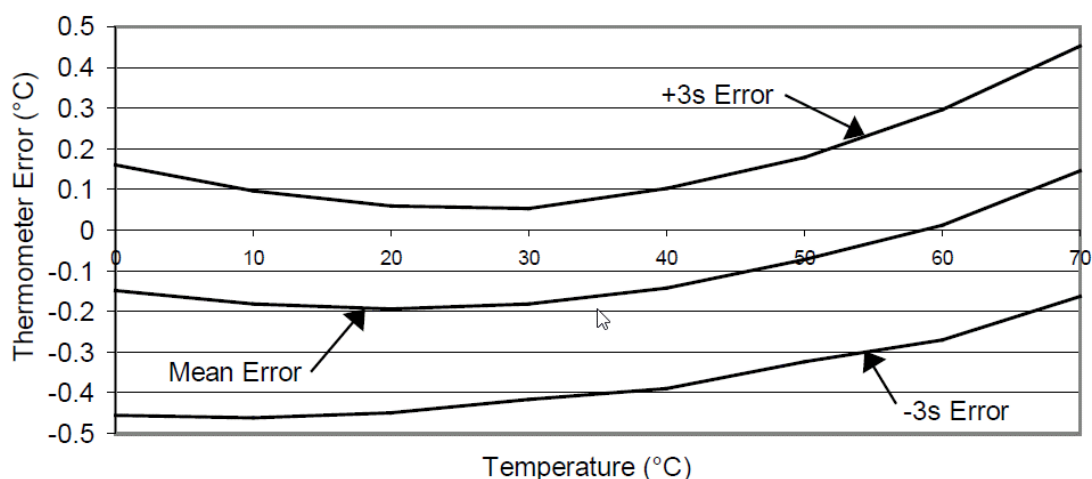


Рис.2.14. Типова крива продуктивності DS18b20

Максимальний час вимірювання давача складає 750 мс, при 12-ти розрядній роздільній здатності, час циклу запису до енергонезалежної пам'яті, при цьому, не перевищує 10 мс.

Серед інших характерних особливостей даної мікросхеми можна виділити наявність енергонезалежної пам'яті, що забезпечує збереження параметрів контролю, адреси сенсора, команд і т.д.

- **Сенсор руху**

Для реєстрації присутності людини в приміщення було обрано інфрачервоні пасивні сенсори руху (PIR-sensors – пасивні ІЧ сенсори). Вони найкраще задовольняють даному проекту завдяки своїй швидкодії та відсутності температурного впливу. Єдине – потребують тонкого налаштування для коректної роботи з мінімумом помилок.

Поставленим завданням цілком задовольнить сенсор HC-SR501, принципова електрична схема якого приведена на рис. 2.15.

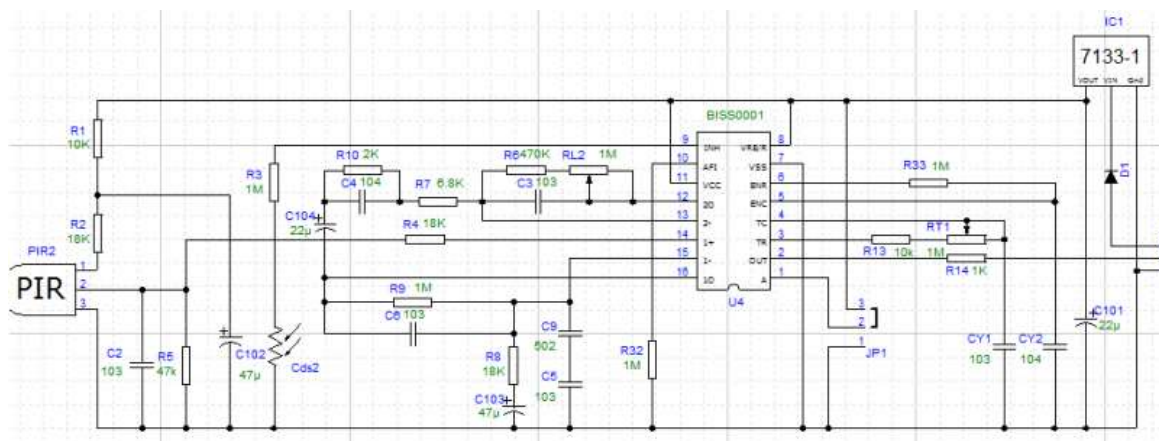


Рис.2.15. Електрична принципова схема HC-SR501.

Побудовано даний сенсор на мікросхемі для обробки детектування руху BISS0001, яка здійснює аналогово-цифрове перетворення інформації, отриманої на PIR первинному перетворювачі. Відповідно, на виході маємо цифровий сигнал, зручний для обробки на мікроконтролері [24].

Окрім іншого, лата містить два вбудованих потенціометри для налаштування чутливості сенсора та час затримки.

Робоча дистанція чутливості сенсора сягає 7 м, а кут захоплення 130°. Ці та інші технічні параметри розглянутого давача дозволяють в повній мірі використовувати його для роботи в проектованій електронній системі.

Підключення сенсора здійснюється через 3-провідний інтерфейс, при чому, оскільки сенсор має цифровий вихід, його інформаційний канал відсилає на мікроконтролер лише два рівні сигналів: логічні «0» - що відповідає відсутності руху в зоні роботи, та «1» - виявлення руху. Це значно спрощує роботу з таким давачем.

2.5 Відображення, збереження інформації; керування системою

- **Відображення** стану роботи ЕС є важливим аспектом. Передбачається, що основна маса інформації та керування системою здійснюватиметься через додаток зі смартфона, шляхом з'єднання через бездротовий інтерфейс. Однак, щоб мати можливість швидко налаштувати

систему, чи переглянути основні її параметри, корисно залучитися невеликим модулем, здатним до відображення такого типу даних.

У випадку з використанням в якості центрального керуючого пристрою відлагоджувальних плати Nucleo, відображення інформації можливо реалізувати також шляхом використання послідовного з'єднання (Serial) з персональним комп'ютером. Однак, в автономному режимі роботи ЕС, відображення інформації доцільніше реалізувати на основі сумісних дисплеїв.

Для розроблюваної системи в якості пристрою відображення було вирішено застосувати монохромний LCD-дисплей, оскільки дане рішення володіє такими характерними перевагами:

- найменша вартість, в порівнянні з альтернативними рішеннями, такими як кольорові LCD дисплеї, OLED матриці і т.і.;
- наявність підсвічування, та можливості регулювання контрасту зображення, що сприяє належній читабельності дисплея за різних умов освітлення;
- можливість виведення чисельно-літерної інформації (до 16 символів в кожному з 2 рядків) як латиницею так і кирилицею.

Типову схему підключення даного LCD-дисплею до мікроконтролера відображено на рис.2.16.

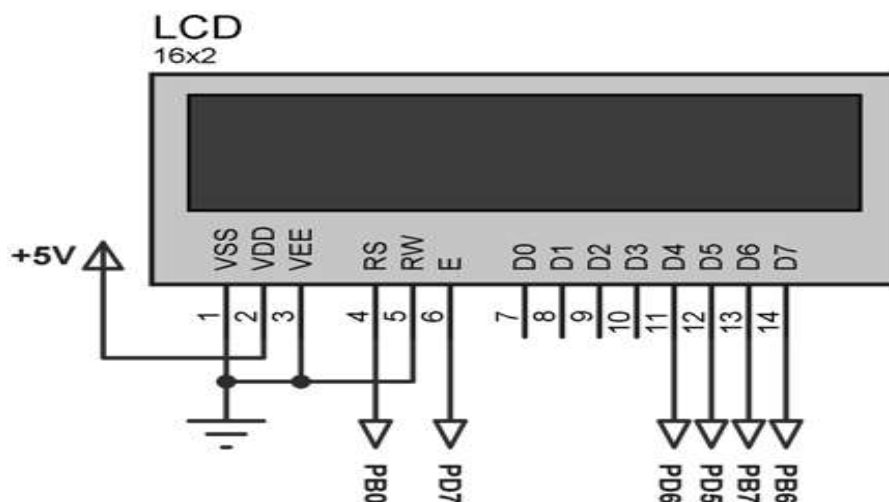


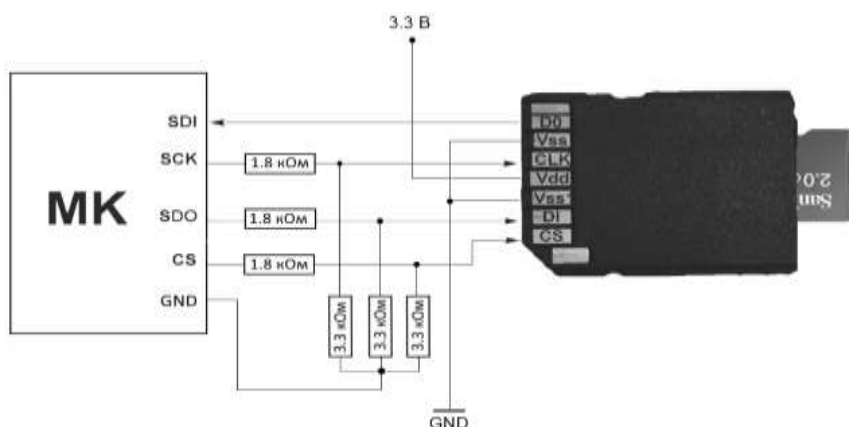
Рис.2.16. Типова схема підключення LCD-дисплея до мікроконтролера

Виводи 4, 6, 11–14 – підключаються до цифрових портів мікроконтролера; 1, 3, 6 – до спільної шини (мінуса); 2 – до плюса живлення (+5 В). Налаштування контрастності зображення здійснюється шляхом подачі на вивід V0 (на схемі не відображено) потенціалу в межах від 0 до +5 В за допомогою потенціометра.

- **Збереження** виміряної інформації дасть можливість на тривалих інтервалах часу оцінювати показники роботи ЕС, будувати графіки і т.д. Звичайно, найзручніше здійснити таку функцію з використанням «хмарного сховища» - тобто збереження на віддаленому сервері. Однак, на початковій стадії, а також для можливості роботи системи без доступу до мережі інтернет, прийнято рішення організувати збереження інформації на модулях пам'яті користувачів.

Реалізація даної вимоги можлива шляхом інтеграції до системи модуля підключення мікро-SD карт, який забезпечує можливість використання даного типу флеш-карт пам'яті в якості файлового збереження інформації.

Типову схему підключення SD карт до мікроконтролера відображено на рис.2.17.



Обраний модуль має не лише необхідні резистивні дільники на цифрових лініях підключення, але й вбудований 3.3 В стабілізатор напруги та перетворювач логічних рівнів, які забезпечують можливість живлення як від 5 В джерел так і від 3.3 В, що значно підвищує універсальність його застосування.

Зовнішній вигляд модуля роботи з micro-SD картами, а також призначення його виводів відображено на рис.2.18 [25].



Рис.2.18. Модуль роботи з micro-SD картами

Підтримка карт пам'яті місткістю до 32 ГБ, а також можливість запису інформації як у вигляді текстових, так і у формі табличних даних.

Підключення до мікроконтролера відбувається через SPI-інтерфейс, що є досить зручно при роботі з мікроконтролерами, і потребує всього чотирьох пінів.

- **Керування** – властивість, наявність якої значною мірою розширює гнучкість у роботі з будь-яким приладом. В контексті розроблюваної ЕС необхідно забезпечити можливість принаймні зміни інформації що відображатиметься на дисплеї та мінімального налаштування режимів роботи. Для цього систему необхідно забезпечити відповідним пультом керування, який за необхідності модернізації можливостей налаштування відтворення інформації, дозволив би її реалізувати.

Побудувати найпростіший, і в той же час абсолютно задовольняючий вимогам до керування пульт можна відповідно до схеми відображеної на рис.2.19. Реалізація даної схеми базується на використанні всього одного аналогового входу мікроконтролера. Так звані тактові кнопки (S2-S6) в цій

схемі, разом із відповідними резисторами (R2-R6) реалізують дільник напруги, значення на виході якого надходить на вхід АЦП мікроконтролера. В залежності від того яка з кнопок затисну в даний момент часу на вході АЦП формується відповідний потенціал, який є унікальним для кожної з кнопок і, відповідно, може інтерпретуватися як запит користувача на виконання певної дії.

Так, наприклад, за напруги живлення $V_{CC} = 5V$, при затисканні тактової кнопки S6, потенціал на вході АЦП AD0 визначатиметься відповідно до формули:

$$U_{AD0(S6)} = V_{CC} \cdot \frac{R_3 + R_4 + R_5 + R_6}{R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_2} = 3.6 \text{ (В)}$$

, при затисненні кнопки S3:

$$U_{AD0(S3)} = V_{CC} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_2} = 0.71 \text{ (В) і так далі.}$$

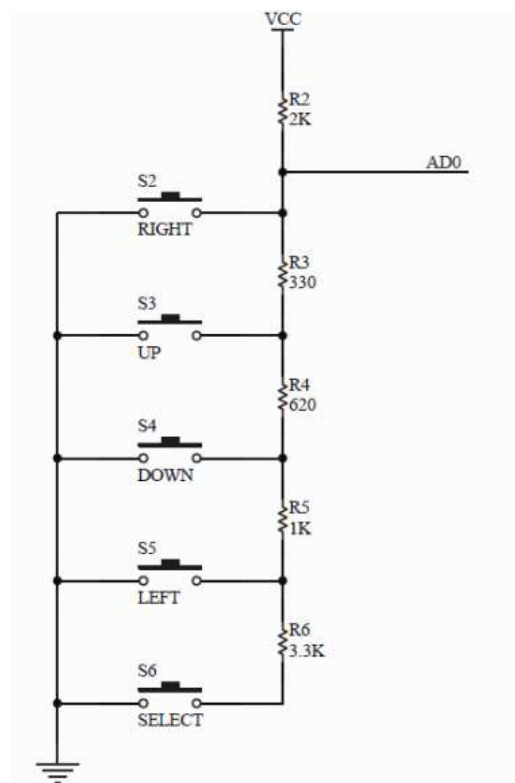


Рис.2.19. Схема реалізації пульта керування

При цьому, задавши програмно виконання певної дії з відображуваною інформацією у відповідності до потенціалу на відповідному вході АЦП, отримуємо пульт керування що цілком задовольняє вимогам системи.

2.6 Вибір контролера та модуля зв'язку

Вибір мікроконтролерів сімейства STM32, на базі ядер Cortex в якості контролюючого пристрою було обґрунтовано на початку розділу 2 даної роботи.

Провівши вибір сенсорів та іншого обладнання, а також враховуючи необхідність забезпечення здатності до модернізації розроблюваної СК, можемо переконатися що мікроконтролер STM32F205RBT6 цілком підходить на роль центрального керуючого пристрою ЕС.

Це високопродуктивна модель з низьким споживанням енергії що володіє наступними технічними характеристиками:

- до 128 кБ Flash пам'яті, 64 кБ ОЗП та 4 кБ енергонезалежної пам'яті;
- до 17 таймерів (16 та 32-бітних, до 120МГц);
- 3 12-ти бітних АЦП та 2 12-ти бітних ЦАП;
- максимальна тактова частота системи 120 МГц;
- до 140 портів вводу/виводу інформації (серед яких порти здатні до роботи з 5 В напругою та високошвидкісні порти до 60 МГц);
- підтримуються до 15 інтерфейсів комунікації, в тому числі I²C, UART, SPI, CAN, USB2.0, Ethernet. [24].

Надмірність певних можливостей, що представляє дана модель мікроконтролера, забезпечують необхідну гнучкість в роботі та придатність до подальшої модернізації системи.

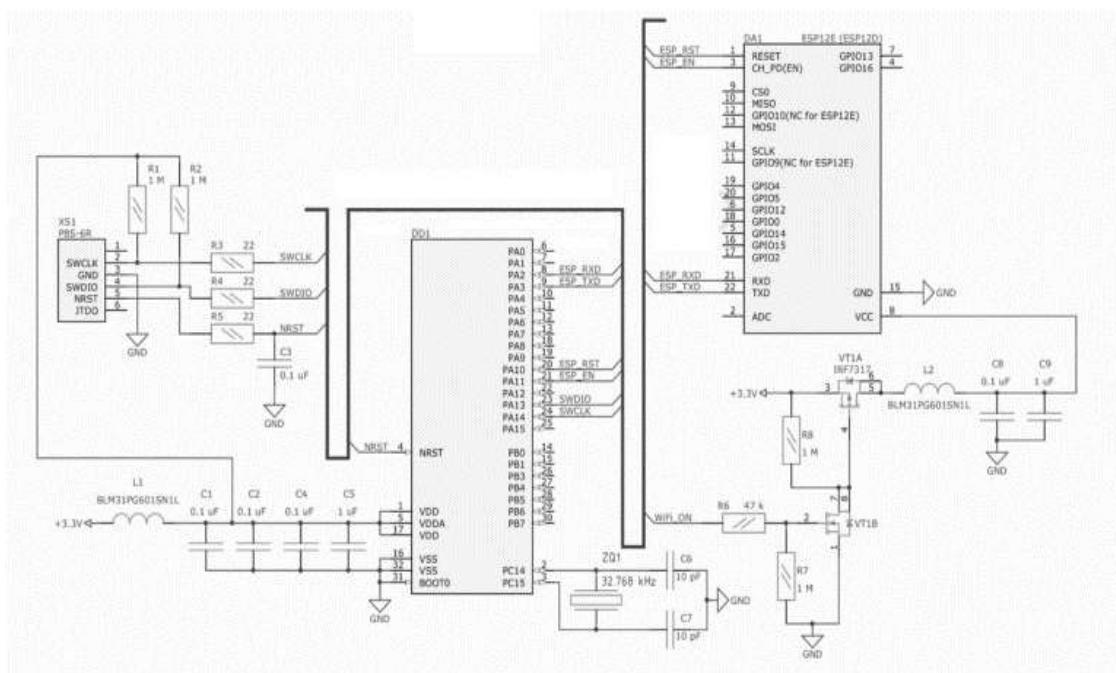


Рис.2.20. Схема підключення обраних контролера та модуля передачі даних.

Для того щоб повною мірою задіяти потенціал обраного контролера доцільно оснастити систему можливістю підключення до смартфона чи ПК. Це дозволить користувачу якомога зручніше використовувати всі переваги, які має надати розроблювана система.

Налагодити такий зв'язок покликаний обраний Wi-Fi-модуль на базі ESR8266 – ESP12. Дана мікросхема характеризується низьким енергоспоживанням, працює на протоколі 802.11 b/g/n в частотному діапазоні 2,4 ГГц. На рисунку 2.20 приведена схема підключення ESP12 до STM32F205.

2.7 Розрахунок блоку живлення

Відповідно до технічних характеристик обраної апаратної бази розроблюваної системи розрахуємо характеристики блоку живлення, необхідного для функціонування СК.

• Напруга

З урахуванням викладок, отриманих при розрахунку блоку стабілізації (розділ 2.4), та з метою оптимізації ресурсів системи, напругу блоку живлення системи визначимо опираючись на наступні умови: - діапазон вхідних напруг для обраної мікросхеми стабілізаторів (LM2931), що забезпечує максимальну

стабільність вихідної напруги: 7 – 20 В; - живлення ОП в модулі давача напруги має бути мінімум на 1 – 1.5 В більше амплітудного значення бажаного вихідного сигналу; розрахунки та моделювання проводилися для джерела номіналом 5 В;

Виходячи з цього, оптимальною вважатимемо вихідну напругу БЖ на рівні 9 В.

- **Струм**

Для оцінки максимального значення сили струму що споживатиметься ЕС в даному виконанні побудуємо відповідну таблицю 1, опираючись на дані технічної документації до обраного апаратного забезпечення:

Таблиця 1. Максимальний струм споживання елементів СК

<i>Споживач</i>	<i>Кількість, шт.</i>	<i>Мах. струм споживання</i>
<i>Мікроконтролер</i>	1	23 мА
<i>Давач струму</i>	1	10 мА
<i>Wi-Fi модуль</i>	1	80 мА
<i>Давач температури</i>	10	15 мА
<i>Пристрій запису</i>	1	200 мА
<i>Дисплей</i>	1	101 мА
<i>Стабілізатор</i>	3	11 мА
Σ	20	440 мА

Опираючись на проведені розрахунки приходимо висновку що блок живлення розроблюваної системи повинен мати вихідну напругу 9 В та мінімальну потужність близько 4 Вт. Однак, зважаючи на необхідність забезпечення можливості модернізації системи, рекомендується забезпечити потужність блоку живлення на рівні 6 – 9 Вт.

В ролі такого блоку можна використати імпульсний АС/DC блок живлення які широко представлені на ринку електроніки.

2.8 Виконавчі засоби керування системами опалення

Для того щоб ЕС що проектується могла виконувати свої функції – розподіляти теплову енергію, вона повинна мати виконавчі засоби, через які контролер відсилав би відповідні команди на керування.

Одним з таких засобів є сервопривід кліматичної системи. З його допомогою можна керувати нагрівом основної системи опалення – водяної.

Для даної ЕС було обрано сервопривід Fabo. Принцип роботи такого пристрою в більшості базується на властивості розширення рідини при її нагріванні. При подачі напруги, ніхромовий провідник нагріває толуол, той розширяється і штовхає робочий шток, який здійснює перекидання/відкидання ходу рідини в системі опалення. При знятті напруги рідина охолоджується і процес набуває зворотного характеру. В силу цього конструкція характеризується не надто високою швидкістю (що видно з графіків на рисунку 2.21.), однак даний недолік компенсується тишею при роботі та довговічністю, через мінімізацію механічно рухомих частин.

Потужність такого пристрою складає 2 Вт, а максимальний струм 300мА, при напрузі в 230 В.

Оскільки, як живлення сервоприводу (механізму керування водяною системою опалення), так і живлення ІЧ плівки (системи електричного опалення) забезпечується змінною напругою від 24 до 230 В , то для забезпечення можливості здійснення керування засобами мікроконтролера, де максимальна вихідна напруга 5 В, необхідно передбачити апаратні засоби які реалізовуватимуть такі можливості.

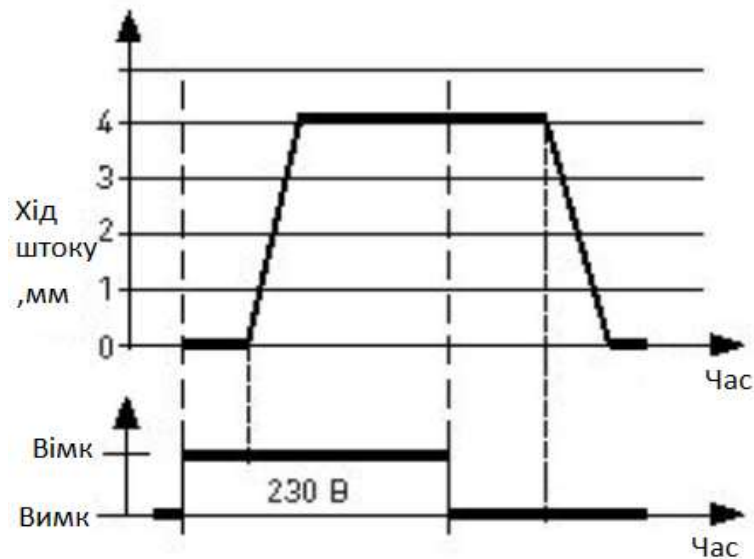


Рис. 2.21. Часові графіки роботи радіаторного сервоприводу.

Найкраще з таким завданням впорається симістор. На відміну від реле він не має рухомих частин, що продовжує термін його служби, а в порівнянні з транзисторами може пропускати високі значення змінного струму.

Симістор краще використовувати в парі з драйверами сімейства МОС30ХХ, оскільки це забезпечить гальванічну розв'язку для захисту низьковольтної частини ЕС та дозволить знизити струми керування мікроконтролера. До того такі драйвери можуть мати «детектор нуля», який перешкоджає виникненню завад від роботи симістора в електричній мережі.

Схему керування навантаженням змінного струму з допомогою симістора та драйвера відображено на рис.2.22 [23].

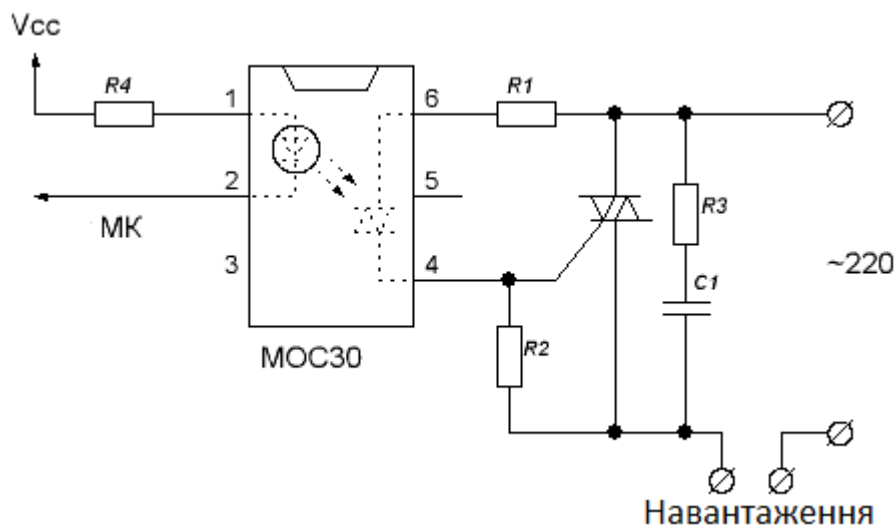


Рис.2.22. Схема керування симістором з допомогою МК.

Отже, на кожен елемент такого навантаження необхідно:

- Драйвер симістора МОС3063М, оскільки він володіє можливістю «детектування нуля» та має найменший струм керування – 5мА;
- Симістор ВТ138, які мають не високу ціну, максимальний робочий струм до 8 А, та витримують напругу в закритому стані до 500 В, чого цілком достатньо для наших цілей;
- Малопотужні резистори та конденсатори для реалізації обмеження струму а також снаберного ланцюга.

2.9 Алгоритми роботи ЕС; впровадження АІ

Обравши елементну базу для проектованої ЕС можемо сформувані основні сценарії роботи системи, та їх алгоритми роботи програмного забезпечення, яке реалізовуватиме автоматизацію функціонування.

Основне завдання системи – розподіл теплової енергії дому максимально енергоефективним чином, в рамках поставлених користувачем умов. Такі умови можуть бути найрізноманітнішими:

1) *Мінімальне використання водяної СО;*

В даному режимі роботи система використовуватиме максимум ресурсів ІЧ СО, а водяну застосовуватиме лише у випадку необхідності довести температуру в кімнаті до певного значення/або ж не використовуватиме взагалі, якщо стоїть така умова. Ціль режимі – мінімізація витрат на опалення водяною СО (актуально у випадку наявності лічильника теплової енергії чи індивідуального газового опалення). До підменю налаштувань даного пункту можна додати під умови: «максимальна енергоефективність/максимальна тепловіддача», «використання водяної СО/не використання водяної СО», «таймер ефективного нагрівання» і т.д.

Графічно даний режим роботи продемонстровано на рис.2.23.

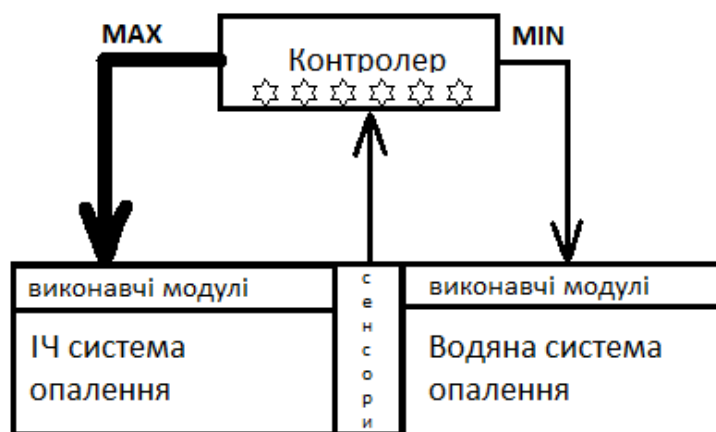


Рис.2.23. Графічна інтерпретація розподілу теплового навантаження на системи опалення.

2) Мінімальне використання ІЧ СО;

В даному режимі роботи система використовуватиме максимум ресурсів водяної СО, а ІЧ застосовуватиме лише у випадку необхідності довести температуру в кімнаті до певного значення/або ж не використовуватиме взагалі, якщо стоїть така умова. Ціль режимі – мінімізація витрат на електроенергію. До підменю налаштувань даного пункту можна додати під умови: «максимальна енергоефективність/максимальна тепловіддача», «використання ІЧ СО/не використання ІЧ СО», «таймер ефективного нагрівання» і т.д.

Графічно даний режим роботи продемонстровано на рис.2.24.

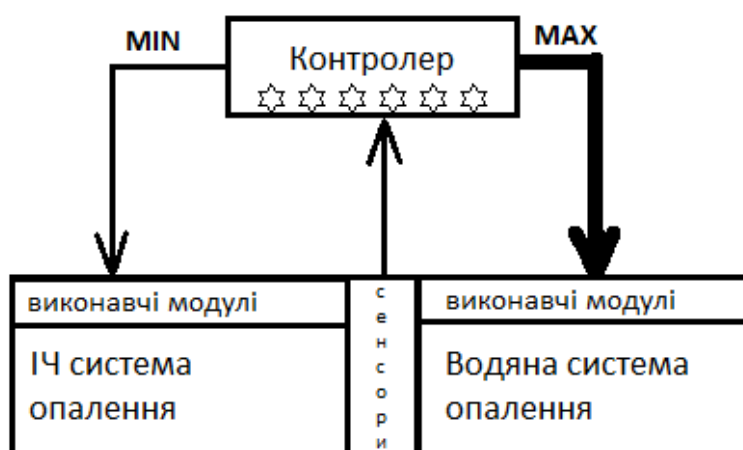


Рис.2.24. Графічна інтерпретація розподілу теплового навантаження на системи опалення.

3) Підтримка заданої температури в приміщенні;

В цьому режимі завдання системи підтримка встановленого температурного режиму. В підменю можна додати такий пункт як «пріоритетна СО» а також «таймер ефективного нагрівання», що дозволить системі в автоматизованому режимі варіювати розподіл зусиль між СО в залежності від часу доби чи поставленого пріоритету.

Графічно даний режим роботи продемонстровано на рис.2.25.

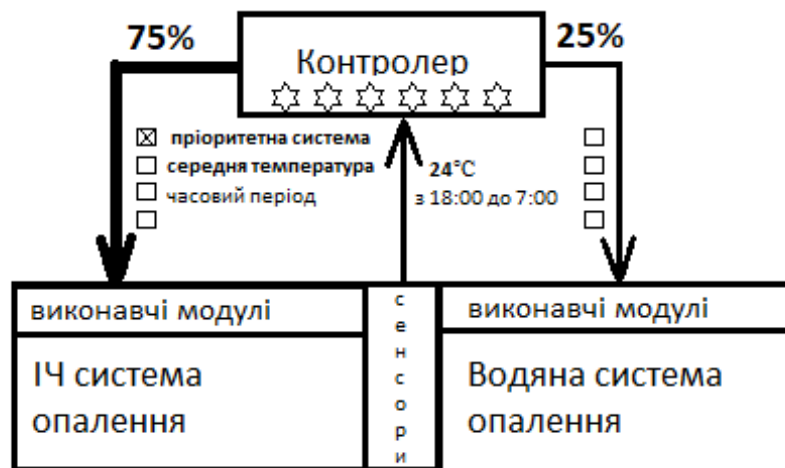


Рис.2.25. Графічна інтерпретація розподілу теплового навантаження на системи опалення для підтримки заданої температури.

4) Підтримка температури в певній виділеній зоні приміщення;

В цьому режимі можна задати «мінімальну середню температуру в приміщенні», і виділити певну зону/зони із власним температурним режимом (наприклад ігрова зона в дитячі, робоча зона, зона відпочинку). Середню температуру ЕС підтримуватиме зусиллями обох систем опалення (з можливим пріоритетом однієї з них), а от зональна температура забезпечуватиметься виключно ІЧ СО.

Графічно даний режим роботи продемонстровано на рис.2.26.

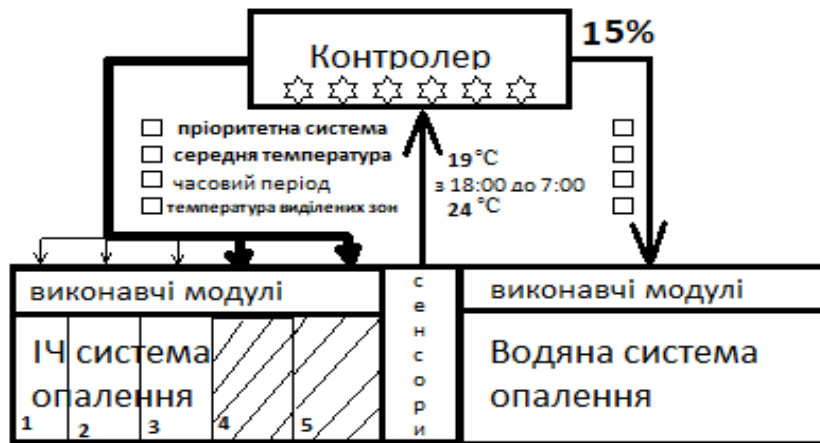


Рис.2.26. Графічна інтерпретація зонального розподілу теплового навантаження на системи опалення для підтримки заданої температури.

- *Робота, переважно в нічний час;*

Режим корисний при наявності багатотарифного лічильника електроенергії. Даний режим можна включити як підпункт до одного з вищезгаданих режимів роботи. В ньому ЕС розуміючи що ефективніше здійснювати нагрів в період з 23:00 до 7:00 може, наприклад, підняти бажану температуру на кілька градусів період до 7:00 в цілях економії, або ж віддати перевагу ІЧ СО перед водяною при нічному підтримуванні температури.

- *Роботи лише за наявності людей в приміщенні;*

Даний розділ теж раціональніше ввести в систему як підпункт до одного з 4 основних режимів. Тут система опираючись на сигнал від сенсора руху виконуватиме заданий режим не постійно, а лише після появи такого сигналу. Решту часту буде підтримуватися мінімально обрана температура «очікування». Режим покликаний на збільшення енергоефективності системи, оскільки відсутні втрати на нагрівання пустого будинку.

- *Робота за таймером;*

Покликання даного розділу аналогічне попередньому - збільшення енергоефективності системи, за рахунок мінімізації втрати на нагрівання пустого будинку (підтримується лише температура «очікування»). Однак контролер опирається вже не на показання сенсора руху, а на показання годинника реального часу, та записаних користувачем заздалегідь програм.

Графічно даний режим роботи продемонстровано на рис.2.27.

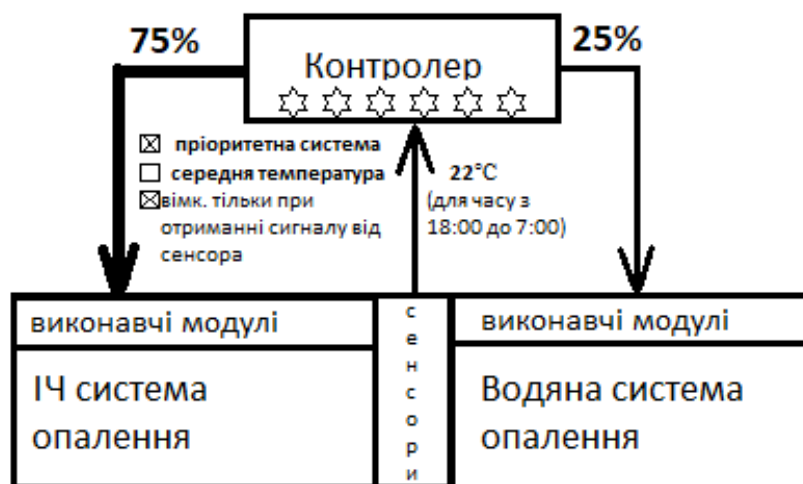


Рис. 2.27. Графічна інтерпретація розподілу теплового навантаження на системи опалення при контролі часу на присутності.

5) Робота в режимі автоматизованого навчання (AI).

Напевне найцікавіший та найбільш складний з точки зору функціонування режим. В ньому системі задаються певні бажані користувачем параметри, як мінімальна температура, пріоритетна СО, час ефективного нагрівання, спрацювання за сенсором руху і т.д. Потім система на протязі 2-3 тижнів функціонує в напів-автоматичному режимі, «слідкуючи» за поведінкою користувача. За цей час вибудовуються певні шаблони поведінки, наприклад:

- Сенсор робочої зони в будні дні спрацьовує в інтервалі від 18 до 19 години, потім температура в цій зоні підіймається до 24°C і пропрацював так до 21 години, в цей же період температура у всій кімнаті опускається до 19°C;
 - У вихідні цілодобово середня температура сягає 23°C;
 - З 8 до 18 в будні дні встановлюється температура 17°C;
 - Пріоритет використання водяної СО збільшується на вихідні;
- і т.д.

Таким чином, накопичуючи ці масиви інформації система з часом починає «діяти на випередження»:

- О 18 самостійно починає потроху підіймати температуру в робочій зоні, знижуючи опалення кімнати за межами зони, при цьому якщо до 19 години сенсор руху не відпрацював, локальна СО відмикається;
- Автоматичне встановлення вищої температури на вихідні дні, аналогічно при цьому слідкуючи за наявністю людей в приміщенні;
- Заздалегідь починається зниження температури зранку та прогрів перед вечором;
- В кожному зі згаданих випадків ЕС слідує за втручанням користувача в її автоматизованість, у випадку систематичних поправок – коректує дії.

Дайни режим є найбільш гнучким, з точки зору прив'язки системи до вимог користувача, однак найбільш перспективним для майбутнього комфортного користування, так як система почне ніби передбачати що й коли необхідно зробити

Узагальнений алгоритм роботи програми продемонстровано на рис.2.28.



Рис.2.28 Узагальнений вигляд циклу автоматизованого функціонування ЕС

2.10 Розробка електричної принципової схеми

Кінцевою стадією проектування електронної системи автоматизованого розподілу теплової енергії дому є створення електричної принципової схеми. Опираючись на обрану елементну базу та структурну схему ЕС, з використанням засобів САПР DipTrace, було розроблено електричну принципову схему, відображену в МР6.050802.032.007.Е3.

Обрана система автоматизованого проектування має велику базу електронних компонентів, а також дозволяє створювати власні компоненти та редагувати наявні, що значно розширює її проектувальні можливості. Даний процес відображено на рис. 2.29.

До того ж дана САПР має засоби графічного редагування зображення: рисування різних фігур, таблиць, текстів поруч з електричними схемами, що беззаперечно можна також віднести до її переваг.

C1 – C4 – керамічні конденсатори які забезпечують згладження коротких імпульсних завад в шині живлення що спричиняються роботою цифрових схем. Встановлюються по одному на кожну пару Vcc GND як найближче до виводів живлення.

Дросель L1 – разом із конденсатором C5 формує фільтр для живлення АЦП мікроконтролера.

Y1 – кварцовий резонатор разом із конденсаторами C8, C9 та резистором R2 формують ланку тактування для внутрішнього тактового генератора мікроконтролера.

Y2 – кварцовий резонатор разом із конденсаторами C6, C7 та резистором R3 формують ланку тактування годинник реального часу.

Резистор R1 формує підтяжку низького логічного рівня на порті мікроконтролера, що забезпечує запуск програми з Flash-пам'яті при старті.

Резистор R21 формує підтяжку низького логічного рівня на порті мікроконтролера, що забезпечує запуск програми з Flash-пам'яті при старті.

DA4 – DA6 – стабілізатори напруги, для забезпечення стабільного рівня напруги живлення елементів системи;

DD5 – DD8 та R20 формують групу сенсорів температури;

DS1 – модуль дисплея;

DA1 – модуль безпроводного зв'язку Wi-Fi;

DA2 – модуль сенсора струму;

DD2 – модуль пам'яті;

DD1 – мікроконтролер;

Решта модулів системи сформовані в групи та підписані безпосередньо на електричній принциповій схемі.

Висновки до проектування системи контролю

Обрані датчики дозволяють проводити вимірювання фізичних та електричних параметрів роботи ЕС в діапазонах поставлених умовами технічного завдання; мікроконтролер опрацьовує цю інформацію та надсилає

на збереження до пристрою запису; модуль дисплею забезпечує візуалізацію отриманої інформації а блок стабілізації забезпечує дотримання точності вимірювань згідно технічної документації сенсорів.

Мікроконтролер STM32F205RBT6, який було обрано в якості центрального керуючого пристрою володіє запасом апаратних та обчислювальних потужностей, що забезпечує необхідну високу здатність до модернізації системи. Цьому також сприяє і сама платформа обраного мікроконтролера та відлагоджувальної плати, до якої наявна велика кількість різноманітних периферійних модулів та готових алгоритмів роботи з ними.

Розроблені в ході роботи структурна та електрична принципова схеми, а також модуль давача напруги, можна вважати унікальними.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДРУКОВАНОЇ ПЛАТИ МОДУЛЯ СЕНСОРА НАПРУГИ

Проектована система контролю стану для випробовування теплового насоса базується на використанні в якості центрального керуючого пристрою AVR мікроконтролера та сумісних модулів давачів фізичних та електричних величин а також периферійного обладнання керування системою, збереження та відтворення інформації.

Однак один із модулів – сенсор напруги, було розроблено в ході роботи, опираючись на вимоги до системи, параметри що контролюються та використовуючи рішення з інших областей електроніки.

В зв'язку з цим, для спроектованого модуля давача напруги буде розроблено конструкцію друкованої плати для його подальшої реалізації як готового сенсора.

Проектування здійснювалося в САПР DipTrace .

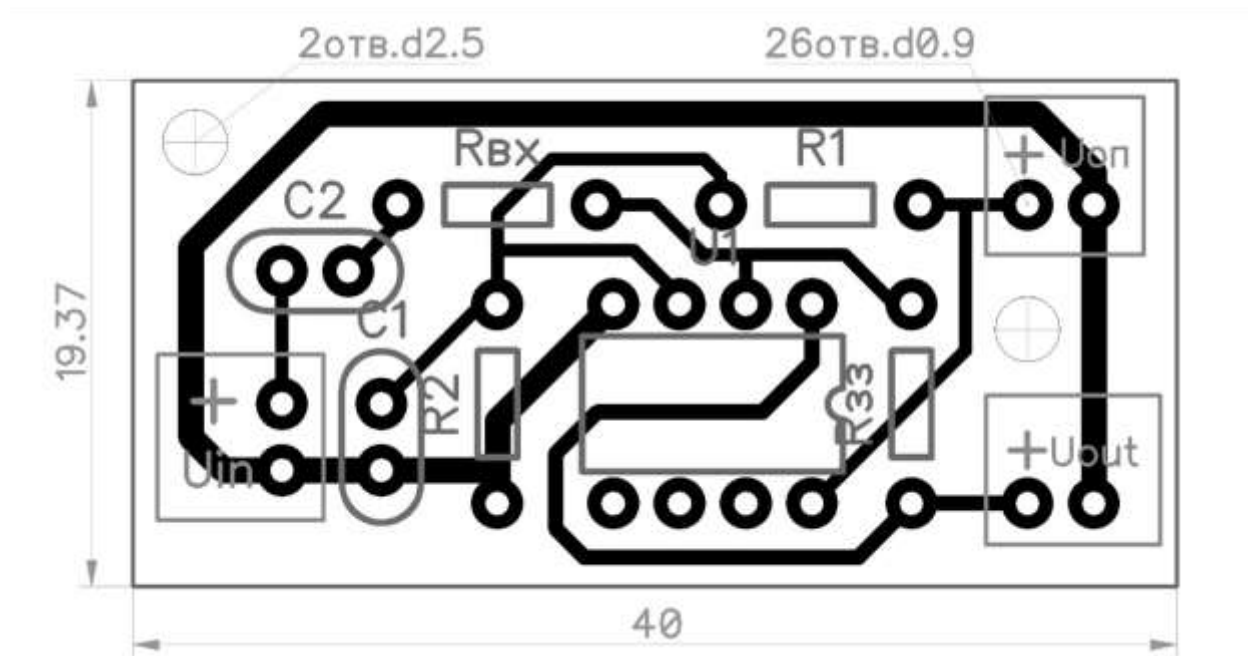


Рис.3.1. Друкована плата розробленого модуля давача напруги

На рисунку 3.2 відображено інтерфейс програми DipTrace. До відмінних рис даної САПР можна віднести широку елементну базу та можливість

гнучкого налаштування моделей електронних компонентів, а також наявність функції автотрасування.

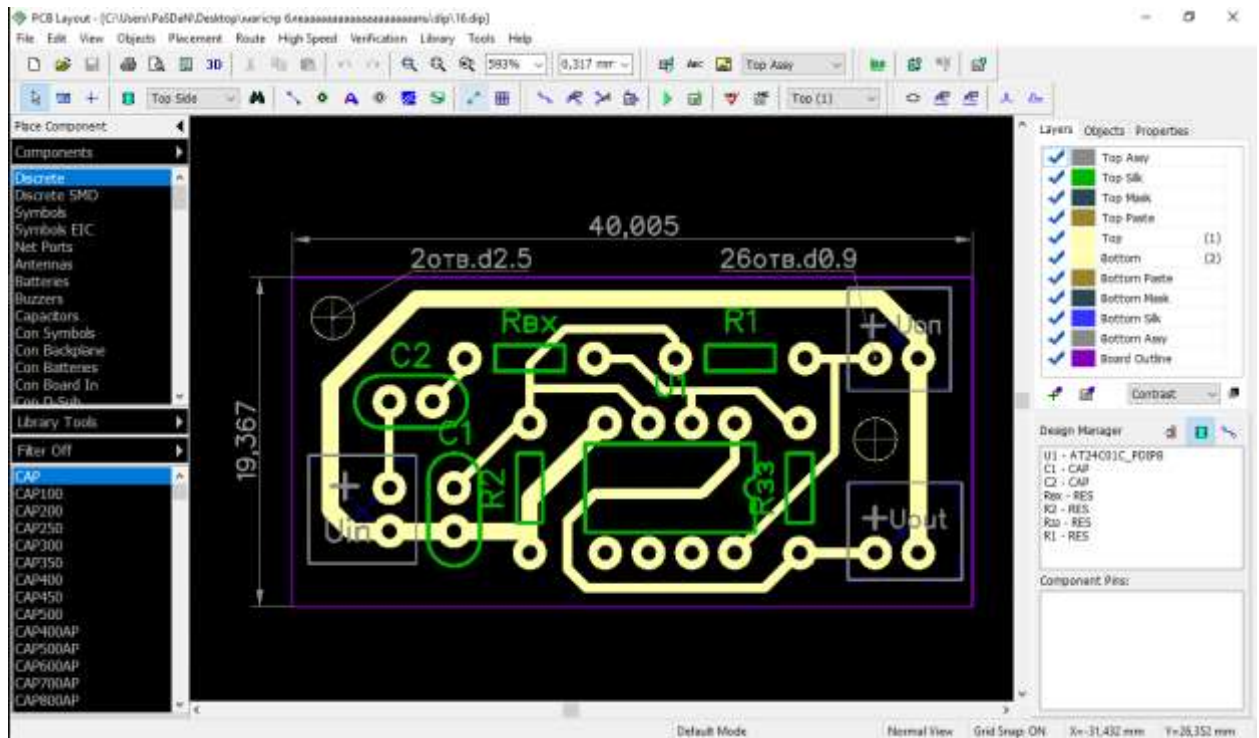


Рис.3.2. Інтерфейс середовища САПР DipTrace.

Розрахуємо елементи друкованого монтажу за постійним струмом.

Для визначення мінімальної ширини друкованого провідника сконструйованої друкованої плати скористаємося формулою 3.1.

$$b_{min} = \frac{I_{max}}{j_{don} \cdot t} \quad (3.1)$$

, де $j_{don} = 48 \text{ А/мм}^2$ – допустима густина струму для зовнішніх шарів друкованої плати спеціального (вимірювального) обладнання;

$t = 0,1 \text{ мм.}$ – товщина провідника (мідної фольги та осадженої міді);

I_{max} - максимальний постійний струм в провіднику, що визначається наступним чином:

- оскільки вхідний опір ОП має значення десятків МОм (умовно «нескінченно великий»), весь струм з трансформатора протікає через ланцюг $R_{vx} - R_{z3}$;

- на неінвертуючому вході ОП резистивний дільник R1 – R2 формує потенціал умовної нульової точки на рівні +2,5 В ($U_{0.ОП}$), а потенціал інвертуючого входу прагне зрівнятися з цим значенням (згідно принципу роботи ОП);

- так як діюче значення напруги на виході з трансформатора складає +12 В ($U_{тр.вих}$), струм через резистор $R_{вх}$ визначатиметься:

$$I_{R_{вх}} = \frac{U_{тр.вих} - U_{0.ОП}}{R_{вх}} = \frac{12 - 2.5}{76 \cdot 10^3} = 125 (\mu A)$$

- в ланцюзі живлення ОП, відповідно до технічної документації, максимальний струм споживання не перевищує 1,2 мА.
- максимальний струм на виході ОП складає 60 мА.

Звідси, маємо значення мінімальної ширини друкованого провідника для ланцюгів входу ОП (b_{min1}), живлення ОП (b_{min2}) та виходу ОП (b_{min3}):

$$b_{min1} = \frac{125 \cdot 10^{-6}}{48 \cdot 0,1} = 26 (\mu m); b_{min2} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,1} = 0,25 (\mu m); b_{min3} = \frac{60 \cdot 10^{-3}}{48 \cdot 0,1} = 12,5 (\mu m).$$

Мінімальна ширина друкованого провідника за значенням допустимого падіння напруги на ньому визначається за формулою 3.2.

$$b_{min} = \frac{\rho I_{max} l_{np}}{t U_{дон}} = \frac{0,0175 \cdot 0,06 \cdot 0,1}{0,1 \cdot 0,6} = 2 (\mu m). \quad (3.2)$$

, де $l_{np} = 100 \text{ мм}$ – довжина найдовшого провідника на друкованій платі; $U_{дон} = 5\% U_{ж} = 0,05 \cdot 12 = 0,6 \text{ (В)}$; $\rho = 0,0175 \text{ (Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м)}$ – питомий опір міді.

Для забезпечення запасу міцності системи, ширину друкованого провідника пропонується обрати близько 0,5 мм.

Номінальне значення монтажних отворів розрахуємо за формулою 3.3.

$$d = d_s + |\Delta d_{нo}| + r = 0,6 + 0,1 + 0,1 = 0,8 (\text{мм}) \quad (3.3)$$

, де d_s – максимальний діаметр виводу конструктивного елемента; $\Delta d_{нo}$ – нижнє граничне відхилення від номінального діаметра монтажного отвору; r – різниця

між мінімальним діаметром монтажного отвору і максимальним діаметром виводу (числові значення взято для інтегральних схем).

На рисунку 3.3 відображено посадкові місця елементів друкованої плати:
а) ОП; б) резистори; в) конденсатори (розміри вказано в мм.).

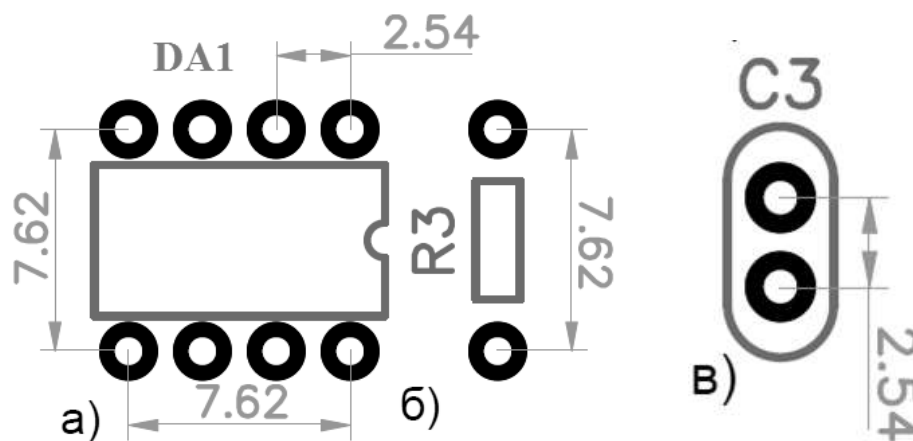


Рис.3.3 Посадкові місця елементів друкованої плати

Посадкові місця обрано відповідно до елементів друкованої плати, підбір яких було здійснено при проектуванні модуля, а перелік наведено в додатку А.

Висновки до розробки конструкції друкованої плати

Друкована плата модуля давача напруги, конструювання якої було проведено в даному розділі, відповідно до розробленої раніше схеми та обраної елементної бази, дозволить реалізувати конструктивно даний модуль, що є необхідною складовою розроблюваної ЕС.

Розраховані в даному розділі елементи друкованої плати мають забезпечити належне функціонування модулю, що є важливим для отримання достовірних даних електричних параметрів системи опалення. Це також дозволить провести подальшу оцінку ефективності та продуктивності роботи СО з метою покращення її експлуатаційних характеристик.

РОЗДІЛ 4. ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТАРТАПУ

Розроблювана в даній роботі автоматизована електронна система має високий потенціал до комерційного застосування, оскільки наразі на ринку відсутні аналоги, які би в повній мірі покривали спектр її можливостей .

Більшість терморегуляторів, які використовують для керування ІЧ системами опалення зазвичай можуть лише підтримувати задану температуру роботи і в кращому випадку мають програмування ввімкнення/вимкнення по часу, тобто певний графік роботи.

Аналогічна ситуація з терморегуляторами що керують роботою термостатів водяних систем опалення.

Розроблювана з система поєднує в собі можливості керування двома системами опалення одночасно, та у відповідності до побажань користувача. Разом із тим додаються можливості зонального обігріву, пріоритетної роботи однієї з систем з можливістю в той же час використовувати іншу для отримання більшої ефективності. А також реалізується керування не лише за часовим параметром, а й за параметром присутності на опалювальній площі людей, що автоматично робить систему більш гнучкою та енергоефективною.

Додаємо до вищеперерахованого перспективу реалізації самонавчання системи, та отримуємо унікальний для ринку продукт, що керує тепловими ресурсами дому, комбінуючи їх найефективнішим чином.

Найбільша ефективність від використання даної установки передбачається в нових квартирах та будинках малих та середніх розмірів (до 80м² планованої опалювальної площі) – у випадку інтересу застосування ІЧ СО в якості основної на протязі тривалого періоду часу. А також і на більших площах, де система покликана більшість часу функціонувати як додаткова, чи як система зонального обігріву: на лоджіях та балконах, зон відпочинку, ігрових та робочих зон і т.д.

Очікуваний ефект від використання даної системи полягає в першу чергу в зменшенні витрат на опалення приміщення, при збереженні того ж рівня теплового комфорту.

Використання звичайного терморегулятора, разом із підлогою потужністю 200 Вт/м^2 на опалювальних площах порядку $20 - 40 \text{ м}^2$ дозволяє досягнути економії електроенергії на 40% [9]. Застосування ж нашої системи, яка мінімізуватиме нераціональне, з точки зору людського сприйняття нагрівання (за рахунок налаштування таймера нагріву, сенсора руху та використання локального нагрівання необхідних зон замість прогрівання всієї площі) дозволить досягнути економії в 20 – 40% в порівнянні зі звичайними термостатами, в залежності від налаштувань. А за наявності багатотарифного лічильника та більш тонкого налаштування, збільшити цей показник ще відсотків на 10 – 15 без втрати в комфорті.

ВИСНОВКИ

Спроектована в ході роботи ЕС автоматизованого розподілу теплової енергії дому в повній мірі відповідає вимогам поставленим в ТЗ до диплому.

1) Параметри фізичних та електричних величин, контроль яких можна забезпечити даною системою наступні:

- електричні: змінні напруга до 400 В, та струм до 30 А;
- фізичні: температура від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$; тиск рідини до 4МПа; потік рідини від 1 до 60л/хв.

2) Разом із тим, опираючись на виміряні електричні параметри система дозволяє відслідковувати витрати електроенергії на обігрів, що дозволяє більш точно керувати енергоефективністю.

3) Обрана платформа центрального керуючого пристрою, та його запас апаратних/обчислювальних потужностей реалізують високу здатність до модернізації системи;

4) Розроблений в ході проектування ЕС модуль давача напруги має сукупні характеристики кращі, ніж більшість розповсюджених альтернатив;

5) За відповідного налаштування система дозволяє суттєво зменшити витрати на споживання електроенергії, аніж наявні на ринку аналоги, оскільки має унікальний в своєму роді функціонал, а також високий потенціал до покращення властивостей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Инфракрасный теплый пол: удобно, доступно и немного опасно [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://umnodom.net/umnyj-klimat/otoplenie/teplye-poly/infrakrasnyj-teplyj-pol.html>.
2. Преимущества теплого пола над другими системами обогрева [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://hotpol.com.ua/dir/file/plusy_karbonovogo_teplogo_pola.html.
3. Клименко К. А. Сравнительный анализ современных датчиков тока // Молодой ученый. — 2011. — №8. Т.1. — С. 66-68.
4. Understanding and Applying the Hall Effect [Электронный ресурс]. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/understanding-and-applying-the-hall-effect/>.
5. ДАТЧИКИ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://coretech.com.ua/current-sensor-hall>.
6. Афанасьев В. В. Трансформаторы тока / В. В. Афанасьев. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1989.
7. Кашканов А. Датчики и микроконтроллеры. Часть 3. Измеряем ток и напряжение [Электронный ресурс] / А. Кашканов. – 2015. – Режим доступа до ресурсу: <https://geektimes.ru/post/255126/>.
8. Вавин В. Н. Трансформаторы напряжения и их вторичные цепи / В. Н. Вавин. – Москва: Энергия, 1977.
9. Мощность трехфазной цепи и способы ее измерения. [Электронный ресурс] // 40 – Режим доступа до ресурсу: <http://toehelp.com.ua/lekcii/040.htm>.
10. Преображенский В. П. Теплотехнические измерения и приборы / В. П. Преображенский. – Москва: Энергия, 1978. – 704 с. – (3).

11. Зарубин Л.И., Немиш Ю.И. Полупроводниковая криогенная термометрия. Обзор в кн. Полупроводниковая техника и микроэлектроника. Киев: Наукова думка, 1974, вып.16.
12. Artificial intelligence [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Artificial_intelligence/.
13. Виды, устройство и принцип действия расходомеров [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.devicesearch.ru/article/rashodomeri>.
14. A brief overview of Allegro ACS712 current sensor. Part 1 - Theory [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.radiolocman.com/shem/schematics.html?di=113339>.
15. ACS712-Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>.
16. Шакурский В. К. МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ по курсу «Теоретические основы электротехники» / В. К. Шакурский. – Тольятти, 2006. – 83 с.
17. Особенности инфракрасных обогревателей: в чем их польза и вред для человека [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://teploguru.ru/obogrevateli/infrakrasnye/vred-infrakrasnogo-obogrevatelya.html>;
18. LM2931-N Series Low Dropout Regulators - Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2931-n.pdf>.
19. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer - Datasheet [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
20. Центр экспертиз ТЕСТ: тест теплых полов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://e-dryg.com.ua/wp-content/uploads/2017/03/test-teplyh-polov.pdf>

21. Тепловой насос для отопления дома [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://inzhenernye-seti.com/teplovoy-nasos-dlya-otopleniya-doma>.
22. Passive infrared sensor [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Passive_infrared_sensor.
23. Управление мощной нагрузкой переменного тока [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/post/147570/>.
24. Датчик присутствия человека [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://beg-russia.ru/blog/2016/06/09/unlike-the-motion-sensor-by-moving-the-sensor/>.
25. Работа з microSD картами [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://chipenable.ru/index.php/programming-avr/209-rabota-s-sd-kartoy-podklyuchenie-k-mikrokontrolleru-ch1.html>.